УДК 536.2

Охлаждение бесконечной прямоугольной пластины с адиабатически изолированной стороной при граничных условиях третьего рода

Канд. техн. наук **А. И. КАНАРЕЙКИН**

kanareykins@mail.ru

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)

Работа посвящена вопросам нестационарного теплопереноса. Тем самым поставленная задача относится к процессам, в которых состояние тела стремится к тепловому равновесию. В статье приведено решение распределения температурного поля в бесконечной прямоугольной пластине с адиабатически изолированной стороной. Теплообмен на одной поверхности пластины происходит при граничных условиях третьего рода, на другой поверхности теплообмена нет. Из-за чего задача является несимметричной. Решение находилось с помощью применения методов Фурье и графического метода. В результате получено аналитическое выражение распределения температуры пластины в виде ряда, содержащего тригонометрические и экспоненциальные функции. Также в работе были рассмотрены и проиллюстрированы частные случаи, когда внутреннее термическое сопротивление теплопроводности больше и когда меньше внешнего сопротивления теплоотдачи. Частные случаи были интерпретированы физически. Один из частных случаев приводит поставленную задачу к задаче с граничными условиями первого рода, когда температура поверхности постоянна, что говорит о достоверности полученных результатов.

Ключевые слова: теплообмен, температурное поле, прямоугольная пластина, нестационарная теплопроводность, метод Фурье, графический метод, граничные условия третьего рода.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 29.04.2022, одобрена после рецензирования 01.08.2022, принята к печати 12.08.2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-74-79

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Канарейкин А. И. Охлаждение бесконечной прямоугольной пластины с адиабатически изолированной стороной при граничных условиях третьего рода. // Вестник Международной академии холода. 2022. № 3. С. 74–79. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-74-79

Cooling infinite rectangular plate with adiabatically isolated side wall under boundary conditions of the third kind

Ph. D. **A. I. KANAREYKIN**

kanareykins@mail.ru

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

The article concerns the issue of non-stationary heat transfer. Thus, the issue of the research lies in the field of processes in which the state of the body tends to thermal equilibrium. The article presents a solution for the distribution of temperature field in an infinite rectangular plate with adiabatically isolated side wall. Heat transfer on the one side of the plate takes place under boundary conditions of the third kind and it does not take place on the other side. Due to the reason the task is non-symmetrical. The solution was found by the Fournier method and graphical method. As a result, we obtained an analytical expression for the distribution of plate temperature in expanded form with trigonometric and exponential functions. In addition, special cases, when internal thermal resistance of thermal conductivity was more or less of the external resistance of heat transfer, were considered and exemplified in the article. The special cases were interpreted in terms of physics. One of the cases reduces the task to the one with boundary conditions of the first kind, when the temperature of the surface is constant, which proves the validity of the results obtained.

Keywords: heat exchange, temperature field, rectangular plate, non-stationary heat transfer, the Fournier method, graphical method, boundary conditions of the third kind.

Article info:
Received 29/04/2022, approved after reviewing 01/08/2022, accepted 12/08/2022
DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-74-79
Article in Russian
For citation:
Kanareykin A. I. Cooling infinite rectangular plate with adiabatically isolated side wall under boundary conditions of the third kind. *Journal of International Academy of Refrigeration.* 2022. No 3. p. 74–79. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-74-79

Введение

Как известно процессы теплообмена играют исключительную роль, как в природе, так и в технике. Что обусловлено потребностями теплоэнергетики, атомной энергетики, космонавтики. Также это связано с тем, что от них зависит протекание рабочего процесса в самых разных установках.

Создание оптимальных с точки зрения энергозатрат установок, на сегодняшний день немыслимо без глубокого изучения теплофизических процессов, которые имеют место в этих установках.

Изучению теплообменных процессов посвящен внушительный пласт работ. В частности, особый научный интерес представляют работы, описывающие нестационарный теплообмен в современных теплообменных элементах теплообменного оборудования [1]–[8].

Отдельно можно выделить нестационарные задачи теплопроводности. Такие процессы часто встречаются при охлаждении продуктов в холодильниках, нагревании и охлаждении обрабатываемых заготовок и изделий в технологических процессах, обжиге кирпича, вулканизации резины, пуске и останове энергетических и холодильных агрегатов и т. п.

Известно, что распространение тепла в твердых телах описывается системой дифференциальных уравнений теплопроводности. Нахождение решения задач такого класса связано со множеством математических трудностей. При этом существуют различные методы решения классических краевых задач нестационарной теплопроводности и задач обобщенного типа: метод произведения решений, метод разделения переменных (метод Фурье), метод интегральных преобразований, метод продолжений, метод функции Грина, операционный метод и метод источников [9]–[13]. В частности, для нестационарной и стационарной теплопроводности применяют метод Дюамеля.

Актуальность данной статьи заключается в том, что полученные результаты работы могут быть применимыми для решения достаточно значимых научно-практических задач.

Целью данной работы является найти уравнение, описывающее температурное поле бесконечной прямоугольной пластины с адиабатически изолированной стороной при граничных условиях третьего рода. Задачами исследования были исследование имеющихся работ в данной области, а также изучение основных методов решения подобных задач.

Научная новизна исследования заключается в том, что данная работа отличается от результатов, полученных другими авторами тем, что задача является несимметричной.

В работе рассмотрен случай адиабатически изолированной стенки. Что приводит к тому, что задача является несимметричной. Вопросам расчета температурных полей при наличии адиабатической изоляции посвящено несколько работ [14]–[15]. Решение несимметричных задач имеют весьма сложный и громоздкий окончательный результат, практические применения которых связано с большими трудностями. Большинство решений, встречающихся в литературе, получены для так называемых симметричных условий теплообмена, когда максимальная (минимальная) температура системы находится в геометрическом центре тела. В данном работе с помощью применения метода разделения переменных была решена нестационарная задача распределения температуры в неограниченной пластине при граничных условиях третьего рода. В результате получено довольно простое аналитическое решение распределения температурного поля. При этом было допущено, что теплофизические характеристики вещества не меняются в процессе охлаждения.

Постановка задачи

Рассмотрим однородную пластину толщиной δ с постоянными физическими характеристиками (рис. 1). При этом в начальный момент времени $t=0$ температура в пластине распределена равномерно и равна To. Затем пластину помещают в среду с постоянной температурой $T_{\text{окр}} < T_{\text{o}}$. При этом теплообмен на одной поверхностях пластины происходит при α=const, на другой поверхности теплообмена нет. Необходимо найти закон распределения температурного поля в пластине в виде следующей функции: $T=f(x, t)$.

Основной задачей данной работы является нахождение распределения температуры в пластине бесконечной длины, при этом изменение температуры в ней учи-

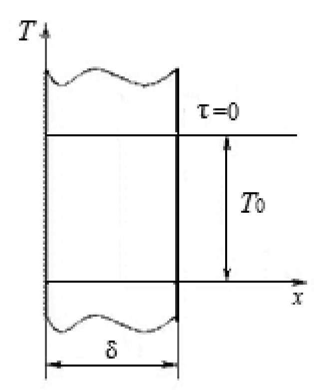

Рис. 1. Прямоугольная пластина с адиабатически изолированной стенкой и заданной температурой на другой стенке

Fig. 1. Rrectangular plate with adiabatically isolated side wall and predetermined temperature on the other side wall

тывается только по одной координате (по оси x). Охлаждение пластины происходит под действием конвективного теплообмена, подчиняющегося закону Ньютона

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha T. \quad (1)$$

Для нахождения решения задачи необходимо решить одномерное дифференциальное уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (2)$$

удовлетворяющее следующим условиям: начальному

$$T\big|_{t=0} = T_0 \quad (3)$$

и граничным: справа есть теплообмен

$$\frac{\partial T}{\partial x} + hT\big|_{x=\delta} = 0 \quad (4)$$

а слева нет

$$\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=0} = 0 \quad (5)$$

Решение задачи

Для начала введем новую переменную

$$\tau = \frac{\lambda}{c\rho} t. \quad (6)$$

В этом случае уравнение (2) упростится

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (7)$$

Будем искать решение в виде произведения двух функций: одна из которых $X(x)$ — функция координаты, другая — $Y(\tau)$ — функция времени.

$$T(x,\tau) = X(x)Y(\tau). \quad (8)$$

Для нахождения решения воспользуемся методом разделения переменных

$$\frac{X''}{X} = -\frac{Y''}{Y}. \quad (9)$$

Применяя метод Фурье, приравняем обе функции к постоянной k^2. В результате этого действия получим линейные дифференциальные уравнения

$$X'' + k^2 X = 0\,, \quad (10)$$

$$Y'' + k^2 Y = 0\,. \quad (11)$$

На вид уравнения одинаковые, но их решения будут отличаться. Решение уравнения (7) будем находить в виде тригонометрических функций

$$X(x) = A\cos kx + B\sin kx. \quad (12)$$

Решение второго уравнения (8) находим в виде экспоненциальной функции

$$Y(x) = C \cdot e^{-k^2\tau}. \quad (13)$$

Найдем постоянные A, B, C, и X так, чтобы удовлетворить граничным условиям (4) и (5). Из условия (4) следует что

$$X'(\delta) + hX(\delta) = 0, \quad (14)$$

а из условия (5) следует что

$$X'(0) = 0. \quad (15)$$

Сначала воспользуемся условием (15)

$$-A \cdot k\sin 0 + B \cdot k\cos 0 = 0. \quad (16)$$

Из него следует, что $B=0$. Тогда решение уравнения (7) будем находить в следующем виде:

$$X(x) = A\cos kx. \quad (17)$$

Теперь применим второе граничное условие (14)

$$-A \cdot k\sin k\delta + A \cdot h\cos k\delta = 0. \quad (18)$$

Откуда

$$\mathrm{ctg} k\delta = \frac{k}{h}. \quad (19)$$

Преобразуем правую часть

$$\mathrm{ctg} k\delta = \frac{\delta k}{\delta h}. \quad (20)$$

Обозначим произведение $k\delta$ за μ, тогда выражение (20) примет вид

$$\mathrm{ctg}\mu = \frac{\mu}{\mathrm{Bi}}, \quad (21)$$

где

$$\mathrm{Bi} = \delta h = \frac{\alpha\delta}{\lambda} \quad (22)$$

безразмерное число Био [16].

Само уравнение (21) с постоянными коэффициентами является характеристическим или трансцендентным (не алгебраическим), поэтому оно имеет бесчисленное множество решений. Далее в целях упрощения самого решения воспользуемся графическим методом. Для этого введем обозначения ctg (μ)=y_1, а μ/Bi=y_2. График y_1 представляет собой котангенсоиду, являющуюся периодической функцией с периодом π. График y_2 — прямая, тангенс угла наклона которой к абсциссе равен 1/Bi. Пе-

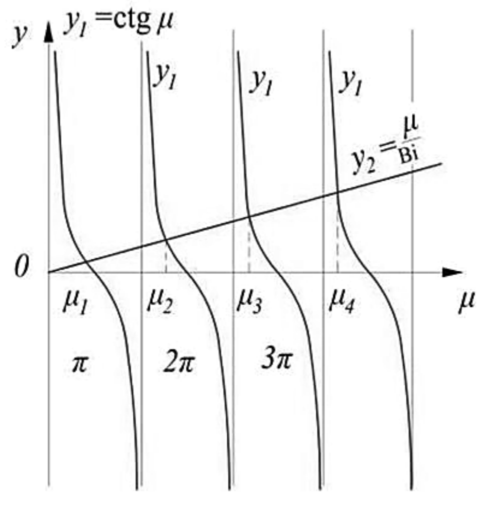

Рис. 2. Определение корней характеристического уравнения графическим способом

Fig. 2. Finding roots for characteristic equation by graphical method

ресечения этих графиков дадут значения. Далее построим графики данных функций, как это показано на рис. 2.

Как видно из графика, уравнение (21) имеет корни μ_n, которые называются собственными числами, зависят от порядкового номера n и числа Bi. При Bi = 0 прямая $y_2=\mu/\mathrm{Bi}$ совпадает с осью ординат, тогда $\mu_1=0$; $\mu_2=\pi,\ldots$, $\mu_n=(n — 1)\,\pi$. При $\mathrm{Bi} \to \infty$ прямая $y=\mu/\mathrm{Bi}$ совпадает с осью абсцисс, тогда корни уравнения (21) будут равны $\mu_1=\pi/2$; $\mu_2=3\pi/2,..,\ \mu_n=(2n — 1)\,\pi/2$.

Таким образом, получим множество функций, удовлетворяющих граничному условию (14)

$$X_n(x) = A_n \cos\left(\frac{\mu_n x}{\delta}\right), \qquad (23)$$

подставляя (23) и (13) в (8), получим множество функций температуры

$$T_n = M_n \cos\left(\frac{\mu_n x}{\delta}\right) e^{-\left(\frac{\mu_n}{a}\right)^2 \tau} \qquad (24)$$

Чтобы удовлетворить граничному условию (3), составим бесконечную сумму

$$T(x,\tau) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n = \sum_n M_n \cos\left(\frac{\mu_n x}{\delta}\right) e^{-\left(\frac{\mu_n}{a}\right)^2 \tau} \qquad (25)$$

и подберем коэффициенты M_n таким образом, чтобы ряд при $x \to a$ сходился к начальному условию

$$\sum_{n=1}^{\infty} M_n \cos\left(\frac{\mu_n x}{\delta}\right) = T_0. \qquad (26)$$

Поэтому необходимо положить числа M_n, равными обобщенным коэффициентам Фурье

$$M_n = \frac{\int_0^{\delta} T_0 \cos\left(\frac{\mu_n x}{\delta}\right) dx}{\int_0^{\delta} \cos^2\left(\frac{\mu_n x}{\delta}\right) dx} = \frac{T_0 \frac{\delta}{\mu_n} \sin\mu_n}{\frac{\delta}{2} + \frac{\delta}{4\mu_n}\sin 2\mu_n} =$$

$$= T_0 \frac{2\sin\mu_n}{\mu_n + \sin\mu_n \cos\mu_n}. \qquad (27)$$

Подставляя теперь значения M_n в (25), получаем формулу для определения температурного поля в несимметрично охлаждаемой однородной пластине

$$T(x,\tau) = \sum_n T_0 \frac{2\sin\mu_n}{\mu_n + \sin\mu_n \cos\mu_n} \cos\left(\frac{\mu_n x}{\delta}\right) e^{-\left(\frac{\mu_n}{a}\right)^2 \tau}. \qquad (28)$$

В безразмерной форме уравнение (28) запишется как

$$\theta(x, F_0) = \frac{T}{T_0} = \sum_n \frac{2\sin\mu_n}{\mu_n + \sin\mu_n \cos\mu_n} \cos\left(\frac{\mu_n x}{\delta}\right) e^{-\mu_n^2 F_0}, \qquad (29)$$

где

$$F_0 = \frac{a\tau}{\delta^2} \qquad (30)$$

критерий Фурье.

Анализ полученного решения

Так как $\cos(\mu_n x/\delta)$ — величина ограниченная, а $\exp(-\mu_n^2 \mathrm{Fo})$ — величина быстро убывающая, то в так называемой области с регулярным тепловым режимом (при $\mathrm{Fo} \geq 0{,}25$) ряд становится быстро сходящимся и может быть заменен только первым членом. В этом случае выражение (29) примет

$$\theta = N_n \cos\left(\frac{\mu_1 x}{\delta}\right) e^{-\mu_1^2 F_0}. \qquad (31)$$

Проведем исследование поведения температурного поля пластины при различных значениях Bi. Сначала рассмотрим случай малых значений числа Bi. Для малых μ характеристическое уравнение примет вид

$$\mu^2 = \mathrm{Bi}. \qquad (32)$$

В этом случае температура пластины по толщине распределяется равномерно и в безразмерном виде ее можно определить по формуле

$$\theta = \cos\left(\sqrt{\mathrm{Bi}}\,\frac{x}{\delta}\right) e^{-\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}}. \qquad (33)$$

В пределе ($\mathrm{Bi} \to 0$) значение косинуса равно 1, тогда температурное поле примет вид

$$\theta = e^{-\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}}. \qquad (34)$$

Отсюда следует, что выражение (34) не зависит от X. Это означает, что температурное поле меняется во времени по экспоненциальному закону.

В случае, когда число Bi стремится к бесконечности означает, что интенсивность внешнего теплообмена бесконечно велика. Что приводит к тому, что температура поверхности пластины равна температуре окружающей среды. В этом случае получаем задачу с граничными условиями первого рода, когда температура поверхности постоянна.

Распределение температуры в различное время при разных значениях числа Bi приведено на рис. 3.

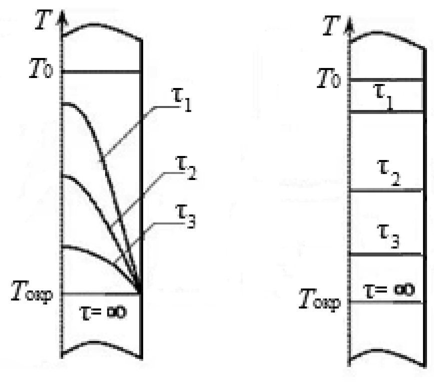

Рис. 3. Изменение температурного поля пластины при охлаждении при условии Bi → ∞ и Bi → 0

Fig. 3. The changes of plate temperature filed on cooling under the conditions Bi → ∞ and Bi → 0

Заключение

1. В настоящей работе было получено аналитическое выражение для нахождения температурного поля в пластине бесконечной длины с адиабатически изолированной стороной при граничных условиях третьего рода.

2. Согласно полученному аналитическому выражению температурное поле пластины при охлаждении в любой момент времени имеет вид несимметричной кривой в виде косинусоиды и уменьшается во времени

по экспоненциальному закону. Также были рассмотрены частные случаи. Для этого полученное решение было исследовано при малых и больших значениях числа Био. Достоверность результатов подтверждается тем, что один из частных случаев приводит поставленную задачу к задаче с граничными условиями первого рода, когда температура поверхности постоянна.

3. Полученный результат имеет как теоретическое, так и практическое применение. Он может быть полезен, как для дальнейшего исследования в области нестационарных несимметричных задачах по теплопроводности, так и для инженерных расчетов холодильного оборудования. В дальнейшем результаты исследования могут быть применимы к решению более сложных задач.

Литература

1. *Nolasco C., Jacome N. J., Hurtado-Lugo N. A.* Solution by numerical methods of the heat equation in engineering applications. A case of study: Cooling without the use of electricity // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1388: 012034. 7 p. DOI: 10.1088/1742–6596/1388/1/012034.
2. *Zhang Y., Zhang X., Li M. et al.* Research on heat transfer enhancement and flow characteristic of heat exchange surface in cosine style runner // Heat and Mass Transfer. 2019. no. 55. pp. 3117–3131. DOI: 10.1007/s00231-019-02647-5
3. *Davoodi H., Yaghoubi M.* Experimental and numerical study of natural convection heat transfer from arrays of zigzag fins // Heat and Mass Transfer. 2019. no. 55. pp. 1913–1926. DOI: 10.1007/s00231-018-2449-5
4. *Hooman K., Sadafi H., Mancin S. et al.* Theoretical analysis of free convection in a partially foam-filled enclosure // Heat and Mass Transfer. 2019. no. 55. pp. 1937–1946. URL: https://doi.org/10.1007/s00231-018-2466-4
5. *Samarin O. D.* The temperature waves motion in hollow thick-walled cylinder. // Magazine of Civil Engineering. 2018. 2:161–168. DOI: 10.18720/MCE. 78.13
6. *Маскайкин В. А.* Теоретическое исследование температурных режимов при обтекании осесимметричных тел, транспортируемые на внешней подвеске летательных аппаратов // Труды МАИ. 2020. № 111. DOI: 10.34759/trd-2020-111-4
7. *Бендерский Б. Я., Чернова А. А.* Теплообмен в камере сгорания ракетного двигателя при изменении геометрии канально-щелевого заряда твердого топлива // Труды МАИ. 2018. № 111. DOI: 10.34759/trd-2020-111-5
8. *Савицкий Д. В., Аксёнов А. А., Жлуктов С. В.* Численное моделирование взаимодействия аргоновой плазмы с углеродным образцом теплозащитного покрытия // Труды МАИ. 2020. № 101.
9. *Рапопорт Э. Я.* Методы параметрической оптимизация в задачах многоканального управления системами с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2019. № 4. С. 36–50.
10. *Иванов Д. Ю.* Уточнение коллокационного метода граничных элементов вблизи границы области в случае двумерных задач нестационарной теплопроводности с граничными условиями второго и третьего рода // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2019. № 57. С. 5–25. DOI: 10.17223/19988621/57/1
11. *Котова Е. В., Еремин А. В., Кудинов В. А. и др.* Метод дополнительных искомых функций в задачах теплопроводности с переменными физическими свойствами среды // Вестник ИГЭУ. 2019. Вып. 2. С. 59–70.
12. *Канарейкин А. И.* Применение математического аппарата Берса к решению задачи теплопроводности // В сборнике: Научные труды Калужского государственного университета имени К. Э. Циолковского. Серия: Естественные науки. 2018. С. 175–178.

References

1. Nolasco C., Jacome N. J., Hurtado-Lugo N. A. Solution by numerical methods of the heat equation in engineering applications. A case of study: Cooling without the use of electricity. *Journal of Physics: Conference Series.* 2019. V. 1388: 012034. 7 p. DOI: 10.1088/1742–6596/1388/1/012034.
2. Zhang Y., Zhang X., Li M. et al. Research on heat transfer enhancement and flow characteristic of heat exchange surface in cosine style runner. *Heat and Mass Transfer.* 2019. no. 55. pp. 3117–3131. DOI: 10.1007/s00231-019-02647-5
3. Davoodi H., Yaghoubi M. Experimental and numerical study of natural convection heat transfer from arrays of zigzag fins. *Heat and Mass Transfer.* 2019. no. 55. pp. 1913–1926. DOI: 10.1007/s00231-018-2449-5
4. Hooman K., Sadafi H., Mancin S. et al. Theoretical analysis of free convection in a partially foam-filled enclosure. *Heat and Mass Transfer.* 2019. no. 55. pp. 1937–1946. URL: https://doi.org/10.1007/s00231-018-2466-4
5. Samarin O. D. The temperature waves motion in hollow thick-walled cylinder. *Magazine of Civil Engineering.* 2018. 2:161–168. DOI: 10.18720/MCE. 78.13
6. Maskaikin V. A. Theoretical study of temperature regimes in the flow of axisymmetric bodies transported on the external suspension of aircraft. *Proceedings of MAI.* 2020. No. 111. DOI: 10.34759/trd-2020-111-4 (in Russian)
7. Bendersky B. Ya., Chernova A. A. Heat transfer in the combustion chamber of a rocket engine when changing the geometry of the channel-slot charge of solid fuel. *Proceedings of MAY.* 2018. No. 111. DOI: 10.34759/trd-2020-111-5 (in Russian)
8. Savitsky D. V., Aksenov A. A., Zhluktov S. V. Numerical simulation of the interaction of argon plasma with a carbon sample of a heat-protective coating. *Proceedings of MAI.* 2020. No. 101. (in Russian)
9. Rapoport E. Ya. Methods of parametric optimization in problems of multichannel control of systems with distributed parameters. *Izvestiya RAS. Theory and control systems.* 2019. No. 4. pp. 36–50. (in Russian)
10. Ivanov D. Y. Refinement of the collocation method of boundary elements near the boundary of the domain in the case of two-dimensional problems of unsteady thermal conductivity with boundary conditions of the second and third kind. *Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and mechanics.* 2019. No. 57. pp. 5–25. DOI: 10.17223/19988621/57/1 (in Russian)
11. Kotova E. V., Eremin A. V., Kudinov V. A. et al. The method of additional desired functions in thermal conductivity problems with variable physical properties of the medium. *IGEU Bulletin.* 2019. Is. 2. pp. 59–70. (in Russian)
12. Kanareykin A. I. Application of the mathematical apparatus of Bers to the solution of the problem of thermal conductivity. *In the collection: Scientific works of Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky. Series: Natural Sciences.* 2018. pp. 175–178. (in Russian)

13. *Gonzalez-Duran J. E. E., Rodriguez-Resendiz J., Ramirez J. M. O., Zamora-Antunano M. A., Lira-Cortes L.* Finite-Element Simulation for Thermal Modeling of a Cell in an Adiabatic Calorimeter // Energies. 2020. V. 13. No. 9: 2300. 12 p. DOI: 10.3390/en13092300.
14. *Kanareykin A.* Temperature distribution in an elliptical body with an internal heat source with partial adiabatic isolation. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 258. 09071.
15. *Канарейкин А. И.* Распределение температуры в теле эллиптического сечения с внутренним источником тепла при адиабатической изоляции половины поверхности // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2021. № 5. С. 20–25.
16. *Kanareykin A. I.* Determination of the thickness of the flame front using mathematical modeling of the temperature field, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. 990 012030. DOI: 10.1088/1755–1315/990/1/012030.

13. Gonzalez-Duran J. E. E., Rodriguez-Resendiz J., Ramirez J. M. O., Zamora-Antunano M. A., Lira-Cortes L. Finite-Element Simulation for Thermal Modeling of a Cell in an Adiabatic Calorimeter. *Energies.* 2020. V. 13. No. 9: 2300. 12 p. DOI: 10.3390/en13092300.
14. Kanareykin A. Temperature distribution in an elliptical body with an internal heat source with partial adiabatic isolation. *E3S Web of Conferences.* 2021. Vol. 258. 09071.
15. Kanareykin A. I. Temperature distribution in an elliptical cross-section body with an internal heat source with adiabatic insulation of half of the surface. *Forging and stamping production. Processing of materials by pressure.* 2021. No. 5. pp. 20–25. (in Russian)
16. Kanareykin A. I. Determination of the thickness of the flame front using mathematical modeling of the temperature field, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. 990 012030. DOI: 10.1088/1755–1315/990/1/012030.

Сведения об авторе

Канарейкин Александр Иванович
К. т. н., доцент кафедры общей физики,
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), 117997, Москва ул. Миклухо-Маклая, 23, kanareykins@mail.ru,
ORCID: 0000-0001-9108-7495

Information about author

Kanareykin Alexander I.
Ph. D., Associate Professor of the Department of General Physics, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University, Miklouho-Maclay St. 23., Moscow, 117997, Russian Federation, kanareykins@mail.ru,
ORCID: 0000-0001-9108-7495

Памяти Людмилы Дмитриевны Акимовой

академика Международной академии холода

12 сентября 2022 г., на 94 году жизни ушла от нас замечательная женщина, обаятельная, интеллигентная, умная, профессионал высокого уровня, выдающийся энтузиаст своего дела, посвятивший большую часть своей жизни издательской деятельности в области холодильной индустрии — Людмила Дмитриевна Акимова.

С 1985 г. Людмила Дмитриевна — главный редактор всемирно известного журнала «Холодильная техника», а с 1996 г. учредителем журнала являлся ее «Издательский дом «Холодильная техника». Благодаря ее неутомимой энергии, пониманию роли холода в развитии современной цивилизации журнал «Холодильная техника» стал авторитетным и, без преувеличения, исключительно востребованным изданием для научных и инженерно-технических работников в области техники и технологий искусственного холода. На публикациях этого журнала выросли целые поколения отечественных холодильщиков.

Она была буквально влюблена в холодильное дело и горела неиссякаемой энергией и новыми идеями.

Людмила Дмитриевна стояла у истоков Общественной организации «Международная академия холода», журнала «Вестник Международной академии холода», учрежденного академией в 1998 г., являлась членом Президиума академии, более 20 лет — заместителем главного редактора журнала «Вестник Международной академии холода». Неоценим ее вклад в становление данного издания. Уход из жизни этого выдающегося человека — тяжелая утрата для всех тех, кому посчастливилось работать и встречаться с Людмилой Дмитриевной.

Холодильщики России и других стран всегда будут благодарны ей за ее просветительскую деятельность.

Светлая память Людмиле Дмитриевне Акимовой.

Президент Международной академии холода,
главный редактор журнала «Вестник МАХ»
Бараненко А. В.