

УДК 536.2

Теплообмен между нагревательным элементом цилиндрической формы и его оболочкой при граничных условиях четвертого рода

Канд. техн. наук А. И. КАНАРЕЙКИН

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)
kanareykins@mail.ru

В статье рассматривается вопрос о нахождении температурного поля нагревательного элемента, изготовленного в виде цилиндра, заключенного в оболочку тоже цилиндрической формы. При этом предполагается, что тепловой контакт между в системе твердое тело — покрытие является идеальным. В этом случае теплообмен происходит при граничных условиях третьего и четвертого рода. В настоящей работе на основе методов дифференцирования и интегрирования было получено решение задачи о распределении температурного поля в обоих телах. Полученное решение имеет аналитический вид, содержащий квадратичные и логарифмические функции. На основании полученного выражения были найдены для данного случая линейный коэффициент теплопередачи и линейное термическое сопротивление. Достоверность полученного результата подтверждается тем, что один из частных случаев приводит поставленную задачу к задаче с граничными условиями первого рода, когда температура поверхности постоянна.

Ключевые слова: теплообмен, температурное поле, нагревательный элемент, стационарная теплопроводность, цилиндр, граничные условия третьего рода, граничные условия четвертого рода, линейный коэффициент теплопередачи, линейное термическое сопротивление.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 06.10.2022, одобрена после рецензирования 05.04.2023, принята к печати 07.06.2023

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-68-73

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Канарейкин А. И. Теплообмен между нагревательным элементом цилиндрической формы и его оболочкой при граничных условиях четвертого рода. // Вестник Международной академии холода. 2023. № 3. С. 68-73. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-68-73

Heat exchange between cylindrical heating element and its shell under boundary conditions of the fourth kind

Ph. D. A. I. KANAREYKIN

Russian State Geological University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI)
kanareykins@mail.ru

The work is devoted to the issues of stationary heat transfer. In this article, the question of finding the temperature field of a heating element made in the form of a cylinder enclosed in a shell of the same cylindrical shape is considered. It is assumed that the thermal contact between the solid-coating system is ideal. In this case, heat exchange occurs under boundary conditions of the third and fourth kinds. In this paper, based on the methods of differentiation and integration, a solution was obtained to the problem of the distribution of the temperature field in both bodies. The resulting solution has an analytical form containing quadratic and logarithmic functions. Based on the obtained expression, a linear heat transfer coefficient and linear thermal resistance were found for this case. The reliability of the obtained result is confirmed by the fact that one of the special cases leads the problem to a problem with boundary conditions of the first kind, when the surface temperature is constant.

Keywords: heat exchange, temperature field, heating element, stationary thermal conductivity, cylinder, boundary conditions of the third kind, boundary conditions of the fourth kind, linear heat transfer coefficient, linear thermal resistance.

Article info:

Received 06/10/2023, approved after reviewing 05/04/2023, accepted 07/06/2023

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-68-73

Article in Russian

For citation:

Kanareykin A. I. Heat exchange between cylindrical heating element and its shell under boundary conditions of the fourth kind. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2023. No 3. p. 68-73. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-68-73

Введение

Быстрое развитие методов численного анализа позволило значительно расширить границы исследования процессов переноса в сложных системах теплообмена. При этом актуальным остается аналитический метод нахождения решения. Так как практика конструирования и моделирования сложных элементов теплообменников показывает, что применение аналитических методов решения прикладных задач зачастую дает более ценные результаты для качественного анализа поведения систем и оптимизации режимов их эксплуатации.

В приложениях математической теории теплопроводности важное место занимает сравнительно новый класс обобщенных краевых задач, определяющих температурное состояние нагревательных элементов [1]. В технических приложениях часто возникает потребность расчета изменения температуры в стенке полого цилиндра, охлаждаемого изнутри стационарным потоком и периодически подвергаемого снаружи нагреву и охлаждению. Отдельно можно выделить нагревательные элементы, выполненные в виде цилиндра. Такие элементы имеют большую механическую прочность и широко применяются в теплообменниках [2]–[16]. Сами нагревательные элементы могут быть как электрическими, так и в их роли могут выступать тепловыделяющие элементы ядерного реактора [17]–[19].

Актуальность данной статьи заключается в том, что полученные результаты работы могут быть применимыми для повышения интенсификации процессов теплообмена нагревательных элементов.

Целью данной работы является нахождение температуры нагревательного элемента имеющего вид цилиндра, а также поля оболочки тоже цилиндрической формы, окружающей элемент при граничных условиях четвертого рода. Задачами исследования были анализ публикаций в данной области, а также изучение численных методов решения.

Научная новизна исследования заключается в том, что в работе рассмотрен теплообмен при граничных условиях четвертого рода, который в литературе встречается редко.

Граничные условия четвертого рода задают условия теплообмена на границе так называемого идеального контакта двух тел. При этом сами тела могут состоять из разного рода веществ с разными физическими свойствами. Поэтому они моделируют идеальный тепловой контакт между плотно соприкасающимися телами. Такой контакт имеет довольно простой физический смысл: какое количество тепла подводится из глубины первого тела к его границе, такое же количество тепла отводится в глубь второго тела. В данной работе на основе методов дифференцирования и интегрирования была решена задача по теплообмену между нагревательным элементом цилиндрической формы и его оболочкой при граничных условиях третьего и четвертого рода. В результате получены законы изменения температурных полей в обоих телах.

Постановка задачи

Основной задачей данной работы является нахождение распределения температурного поля нагревательного элемента имеющего вид цилиндра, а также поля

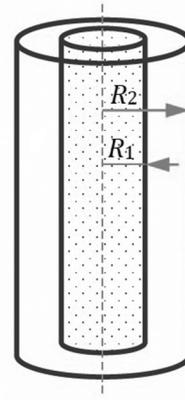


Рис. 1. Нагревательный элемент в оболочке
Fig. 1. Heating element in a shell

оболочки тоже цилиндрической формы, окружающей элемент при граничных условиях четвертого рода (рис. 1). При этом теплообмен на внешней стороне самой оболочки происходит при граничном условии третьего рода. Необходимо найти не только законы распределения температурных полей нагревательного элемента и оболочки при заданных краевых условиях, но и определить для данного случая линейный коэффициент теплопередачи и линейное термическое сопротивление.

Уравнение теплопроводности для данного случая примет следующий вид

$$\Delta T + \frac{q_v}{\lambda_1} = 0, \tag{1}$$

где λ_1 — коэффициент теплопроводности материала, из которого выполнен нагревательный элемент.

Также в силу симметрии в нем отсутствует тепловой поток в центре

$$\left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=0} = 0. \tag{2}$$

Температурное поле оболочки описывается следующим уравнением

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_2 r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0, \tag{3}$$

где λ_2 — коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлена оболочка. При этом при теплообмене граничные условия являются граничными условиями четвертого рода. В этом случае температуры соприкасающихся поверхностей одинаковы

$$T_1|_{r=R_1} = T_2|_{r=R_1}, \tag{4}$$

где T_1 и T_2 — температуры нагревательного элемента и оболочки соответственно. А также должны быть одинаковы тепловые потоки на границе их раздела

$$-\lambda_1 \left. \frac{dT_1}{dr} \right|_{r=R_1} = -\lambda_2 \left. \frac{dT_2}{dr} \right|_{r=R_1}. \tag{5}$$

Также на задано граничное условия третьего рода: на поверхности оболочки происходит конвективный теплообмен с воздушной средой

$$-\lambda_2 \left. \frac{dT_2}{dr} \right|_{r=R_2} = \alpha(T_2 - T_0), \tag{6}$$

где T_0 — температура окружающей среды.

Решение задачи

Для удобства и дальнейших вычислений перейдем к цилиндрической системе координат. Тогда формула (2) примет вид

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = -\frac{q_v}{\lambda_1}. \quad (7)$$

Вспользуемся методом разделения переменных

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = -\frac{q_v}{\lambda_1} r. \quad (8)$$

Далее проинтегрируем обе части уравнения

$$r \frac{dT}{dr} = -\frac{q_v r^2}{2\lambda_1} + C_1, \quad (9)$$

и воспользуемся методом разделения переменных:

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{q_v r}{2\lambda_1} + \frac{C_1}{r}. \quad (10)$$

При интегрировании получим квадратичный закон изменения температуры нагревательного элемента

$$T_1 = -\frac{q_v r^2}{4\lambda_1} - C_1 \ln r + C_2. \quad (11)$$

Здесь постоянная $C_1 = 0$ в силу конечности функции. Поэтому

$$T_1 = -\frac{q_v r^2}{4\lambda_1} + C_2. \quad (12)$$

Проинтегрируем выражение (3)

$$\frac{dT}{dr} = \frac{C_3}{\lambda_2 r}. \quad (13)$$

Повторно интегрируя, получим

$$T_2 = \frac{C_3}{\lambda} \ln r + C_4. \quad (14)$$

Постоянную C_2 найдем из граничного условия четвертого рода (5)

$$-2q_v R_1 = \frac{C_3}{R_1}, \quad (15)$$

откуда постоянная C_3 равна

$$C_3 = -2q_v R_1^2 \quad (16)$$

Тогда температура T_2 равна

$$T_2 = -\frac{2q_v R_1^2}{\lambda_2} \ln r + C_4. \quad (17)$$

Далее воспользуемся граничным условием (4)

$$-\frac{q_v R_1^2}{4\lambda_1} + C_2 = -\frac{2q_v R_1^2}{\lambda_2} \ln R_1 + C_4, \quad (18)$$

откуда

$$C_2 = q_v R_1^2 \left(\frac{1}{4\lambda_1} - \frac{2 \ln R_1}{\lambda_2} \right) + C_4. \quad (19)$$

Постоянную C_4 найдем из граничного условия третьего рода (6). Подставляя выражение (17) в уравнение (6), получим

$$4q_v R_2 = \alpha \left(C_4 - T_0 - \frac{2q_v R_1^2}{\lambda_2} \ln R_2 \right), \quad (20)$$

откуда постоянная C_4 равна

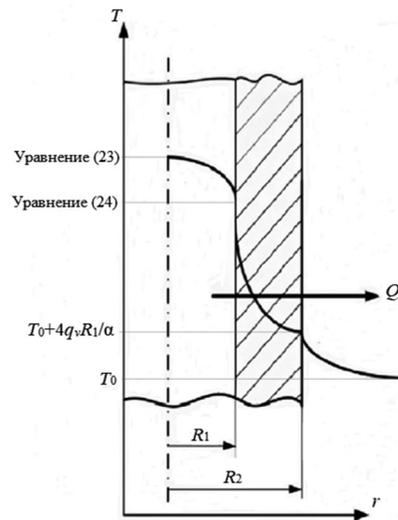


Рис. 2. График поведения температурного поля

Fig. 2. Temperature field variation

$$C_4 = T_0 + \frac{2q_v R_1^2}{\lambda_2} \ln R_2 + \frac{4q_v R_2}{\alpha}. \quad (21)$$

При подстановке этого выражения в уравнение (17) найдем постоянную C_2 :

$$C_2 = T_0 + q_v R_1^2 \left[\frac{1}{4\lambda_1} + \frac{2 \ln(R_2 / R_1)}{\lambda_2} \right] + \frac{4q_v R_2}{\alpha}. \quad (22)$$

Тогда выражение для определения температурного поля нагревательного элемента примет вид

$$T_1 = T_0 + \frac{q_v (R_1^2 - r^2)}{4\lambda_1} + \frac{2q_v R_1^2}{\lambda_2} \ln(R_2 / R_1) + \frac{4q_v R_2}{\alpha}, \quad (23)$$

а для оболочки

$$T_2 = T_0 + \frac{2q_v R_1^2}{\lambda_2} \ln(R_2 / r) + \frac{4q_v R_2}{\alpha}. \quad (24)$$

Как следует из выражения (23), температура нагревательного элемента меняется по параболическому закону в сторону уменьшения от центра. Из второго полученного выражения (24) следует, что поле уменьшается по логарифмическому закону. Результирующее поле системы показано на рис. 2.

Для удобства дальнейших рассуждений введем линейную плотность теплового потока

$$q_i = \frac{Q}{l} \quad (25)$$

где Q — тепловой поток, Вт; l — длина цилиндрической стенки, м.

Так как в работе использовалась объемная плотность теплового потока, то сначала найдем формулу перехода к линейной плотности

$$q_i = \pi r^2 q_v. \quad (26)$$

На основании графика поведения температурного поля можно определить линейный коэффициент теплопередачи через оболочку

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{4\lambda_1} + \frac{2 \ln(R_2 / R_1)}{\lambda_2} \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 + \frac{4}{\alpha R_2}} \quad (27)$$

и линейное термическое сопротивление соответственно

$$R_i = \frac{1}{4\lambda_1} + \frac{2\ln(R_2/R_1)}{\lambda_2} \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 + \frac{4}{\alpha R_2}. \quad (28)$$

Проведем исследование поведения температурного поля для случая, когда отсутствует нагрев. При $q_v=0$ уравнения (23) и (24) примут вид

$$T_1 = T_2 = T_0. \quad (25)$$

Это приводит к тому, что температура нагревательного элемента и оболочки равна температуре окружающей среды. То есть получаем задачу с граничными условиями первого рода [20].

Выводы

1. В настоящей работе было приведено аналитическое решение задачи о распределении темпера-

туры нагревательного элемента, изготовленного в виде цилиндра, и температуры самой оболочки, облегающей элемент при граничных условиях четвертого рода.

2. На основе применения численных методов было найдено аналитическое выражение для нахождения температурного поля нагревательного элемента и облегающей его оболочки в виде выражения, содержащего квадратичные и логарифмические функции. Также был рассмотрен частный случай. Достоверность полученных результатов работы подтверждается тем, что частный случай сводит поставленную задачу к случаю, когда теплообмена нет.

3. Полученный результат может быть применен для интенсификации процессов теплопередачи в тепловых сетях.

Литература

1. *Карташов Э. М., Кудинов А.* Аналитические методы теории теплопроводности и ее приложений. М.: Ленанд, 2018. 1072 с.
2. *Соболев И. С., Бранфилева А. Н.* Численное исследование характеристик изоляционного материала трубопроводов // Наука. Технологии. Инновации. Сборник научных трудов конференции. 2020. С. 212–215.
3. *Багаев А. А., Бобровский С. О.* Интенсификация теплообмена в цилиндрическом змеевиковом теплообменнике электронагревателя с косвенным способом теплопередачи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С. 127–131.
4. *Канарейкин А. И.* Стационарное температурное поле в прямоугольной пластине с переменной теплопроводностью по одной координате // Вестник Международной академии холода. 2023. № 1. С. 99–104. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-99-104
5. *Tatsiy R. M., Pazen O. Y., Vovk S. Y., Kharyshyn D. V.* Simulation of heat transfer process in a multilateral cylindrical shell taking into account the internal heat sources. // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. No 3. pp. 27–32.
6. *Геренштейн А. В., Бездетнов А. Л.* Температурное поле неоднородного стержня // Сервис технических систем — основа безопасного функционирования машин и оборудования предприятий АПК: материала МНПК Института агроинженерии, Челябинск, 15–17 февраля 2018. Троицк: Южно-Уральский государственный аграрный университет. 2018. С. 102–108.
7. *Канарейкин А. И.* Процесс стационарной теплопроводности в стержне при наличии внешнего теплообмена // *Chronos*. 2022. Т. 7. № 4 (66). С. 60–62.
8. *Мищенко А. В.* Моделирование двумерных температурных полей в структурно-неоднородных стержнях с разрывными геометрическими параметрами // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 1 (709). С. 5–15. DOI: 10.32683/0556-1052-2018-709-1-5-15.
9. *Шит М. Л., Пацюк В. И., Журавлев А. А., Бурчу В. И., Тимченко Д. В.* Управление теплообменным аппаратом с переменной площадью поверхности теплообмена // Проблемы региональной энергетики. 2019. № 1 (39).

References

1. *Kartashov E. M., Kudinov A.* Analytical methods of the theory of thermal conductivity and its applications. Moscow, Lenand, 2018. 1072 p. (in Russian)
2. *Sobolev I. S., Branfileva A. N.* Numerical investigation of the characteristics of the insulating material of pipelines. *Nauka. Technologies. Innovation*. Collection of scientific papers of the conference. Novosibirsk. 2020. pp. 212–215. (in Russian)
3. *Bagaev A. A., Bobrovsky S. O.* Intensification of heat exchange in a cylindrical coil heat exchanger of an electric heater with an indirect method of heat transfer. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2021. No. 5 (199). pp. 127–131. (in Russian)
4. *Kanareykin A. I.* Stationary temperature field in a rectangular plate with variable thermal conductivity in one coordinate. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2023. No 1. p. 99–104. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-99-104. (in Russian)
5. *Tatsiy R. M., Pazen O. Y., Vovk S. Y., Kharyshyn D. V.* Simulation of heat transfer process in a multilateral cylindrical shell taking into account the internal heat sources. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 3. pp. 27–32.
6. *Gerenstein A. V., Bezdetnov A. L.* Temperature field of an inhomogeneous rod. Service of technical systems is the basis for the safe functioning of machinery and equipment of agricultural enterprises: mat. International Scientific and Practical conf. Institute of Agricultural Engineering, Chelyabinsk, February 15–17, 2018. Troitsk: South Ural State Agrarian University. 2018. pp. 102–108. (in Russian)
7. *Kanareykin A. I.* The process of stationary thermal conductivity in a rod in the presence of external heat exchange. *Chronos*. 2022. Vol. 7. No. 4 (66). pp. 60–62. (in Russian)
8. *Mishchenko A. V.* Modeling of two-dimensional temperature fields in structurally inhomogeneous rods with discontinuous geometric parameters. *Izvestia of higher educational institutions. Construction*. 2018. No. 1 (709). p. 5–15. DOI: 10.32683/0556-1052-2018-709-1-5-15. (in Russian)
9. *Shit M. L., Patsyuk V. I., Zhuravlev A. A., Burchu V. I., Timchenko D. V.* Control of a heat exchanger with a variable heat exchange surface area. *Problems of regional energy*. 2019. No. 1 (39). (in Russian)

10. Геренштейн А. В., Маширабов Н., Королькова Л. И., Геренштейн Е. А. Дифференциально-разностный метод для третьей смешанной задачи одномерной теплопроводности с непостоянными коэффициентами. В сборнике: Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере технического сервиса машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности: теория и практика. Материалы национальной научной конференции Института агроинженерии. Под редакцией С. А. Гриценко. 2020. С. 82–91.
11. 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.
12. Метод дополнительных искомым функций в задачах теплопроводности с переменными физическими свойствами среды / Е. В. Котова, А. В. Еремин, В. А. Кудинов и др. // Вестник ИГЭУ. 2019. № 2. С. 59–70.
13. 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.
14. Eremin A. V., Kudinov V. A., Stefanyuk E. V. Heat Exchange in a Cylindrical Channel with Stabilized Laminar Fluid Flow. Fluid Dynamics. 2018. Vol. 53. pp. 29–39.
15. Садыков А. В. Расчет двумерного температурного поля в цилиндрической камере // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 12. С. 24–34.
16. Видин Ю. В., Казаков Р. В., Злобин В. С. Процесс переноса тепла в двухслойном цилиндрическом теле // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. № 11–12. С. 93–98.
17. Канарейкин А. И. Особенность изменения поведения температурного поля в твэлах при переходе от цилиндрического к эллиптическому сечению при граничных условиях первого рода // Научные известия. 2022. № 29. С. 174–177.
18. Kanareykin A. I. Mathematical modeling of the fuel element of a nuclear reactor taking into account the temperature dependence of the thermal conductivity of the fuel element made of uranium oxide // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 990, IV International scientific and practical conference «Actual problems of the energy complex: physical processes, mining, production, transmission, processing and environmental protection» 24/11/2021–26/11/2021 Moscow. 2022. С. 012012. DOI: 10.1088/1755–1315/990/1/012012.
19. Kanareykin A. I. Simulation of a fuel element made of plutonium dioxide // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. 1045. 012070. DOI: 10.1088/1755–1315/1045/1/012070.
20. Kanareykin A. I. Energy calculation of the temperature field of an elliptical body without internal heat sources under boundary conditions of the third kind // IOP Conference Series: Earth and Environmental. 2022. 1045. 012068. DOI:10.1088/1755–1315/1045/1/012068.
10. Gerenstein A. V., Mashrabov N., Korolkova L. I., Gerenstein E. A. Differential-difference method for the third mixed problem of one-dimensional thermal conductivity with non-constant coefficients. In the collection: Actual issues of agroengineering sciences in the field of technical service of machinery, equipment and life safety: theory and practice. Materials of the national scientific conference of the Institute of Agroengineering. Edited by S. A. Gritsenko. 2020. pp. 82–91. (in Russian)
11. Ivanov D. Yu. 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 the Tomsk State University. Mathematics and mechanics*. 2019. No. 57. pp. 5–25. DOI: 10.17223/19988621/57/1. (in Russian)
12. The method of additional desired functions in heat conduction problems with variable physical properties of the medium / E. V. Kotova, A. V. Eremin, V. A. Kudinov et al. *Bulletin of IGEU*. 2019. Issue 2. pp. 59–70. (in Russian)
13. 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.
14. Eremin A. V., Kudinov V. A., Stefanyuk E. V. Heat Exchange in a Cylindrical Channel with Stabilized Laminar Fluid Flow. *Fluid Dynamics*. 2018. Vol. 53. pp. 29–39.
15. Sadykov A. V. Calculation of a two-dimensional temperature field in a cylindrical chamber. *Bulletin of Science and practice*. 2018. Vol. 4. No. 12. pp. 24–34. (in Russian)
16. Vidin Yu. V., Kazakov R. V., Zlobin V. S. The process of heat transfer in a two-layer cylindrical body. *Izvestia of higher educational institutions. Energy problems*. 2018. Vol. 20. No. 11–12. pp. 93–98. (in Russian)
17. Kanareykin A. I. The peculiarity of changing the behavior of the temperature field in fuel rods during the transition from a cylindrical to an elliptical section under boundary conditions of the first kind. *Scientific News*. 2022. No. 29. pp. 174–177. (in Russian)
18. Kanareykin A. I. Mathematical modeling of the fuel element of a nuclear reactor taking into account the temperature dependence of the thermal conductivity of the fuel element made of uranium oxide. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 990, IV International scientific and practical conference «Actual problems of the energy complex: physical processes, mining, production, transmission, processing and environmental protection» 24/11/2021–26/11/2021 Moscow*. 2022. С. 012012. DOI: 10.1088/1755–1315/990/1/012012.
19. Kanareykin A. I. Simulation of a fuel element made of plutonium dioxide. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. 1045. 012070. DOI: 10.1088/1755–1315/1045/1/012070.
20. Kanareykin A. I. Energy calculation of the temperature field of an elliptical body without internal heat sources under boundary conditions of the third kind. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*. 2022. 1045. 012068. DOI:10.1088/1755–1315/1045/1/012068.

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, Russia, kanareykins@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9108-7495



Статья доступна по лицензии
Creative Commons «Attribution-NonCommercial»



**28-я международная выставка
«Оборудование, технологии, сырье и ингредиенты для
пищевой и перерабатывающей промышленности»
9-13 октября 2023 г.**

«Агропродмаш» – международная выставка оборудования, машин и ингредиентов для пищевой и перерабатывающей промышленности – на протяжении двух десятилетий демонстрирует лучшие мировые достижения, способствуя внедрению новых современных технологий российскими предприятиями пищевой и перерабатывающей промышленности.

Преимущество и уникальность выставки заключается в том, что экспозиция демонстрирует оборудование и технологии для всей цепочки: от производства сырья и ингредиентов до выпуска готового продукта, его упаковки, контроля качества, охлаждения, хранения и логистических решений.

«Агропродмаш» - абсолютный лидер среди выставок России по тематике «Пищевая промышленность, оборудование и ингредиенты» во всех категориях:

Пищевые технологии. Оборудование и технологии для производства продуктов питания и напитков. Комплексные инженеринговые решения.

Переработка сырья. Оболочки.

МясоПром. Убой и первичная переработка мясного сырья. Производство мясных, колбасных изделий и полуфабрикатов

ПтицеПром. Птицеводство, переработка мяса птицы.

РыбПром. Производство и переработка рыбы и морепродуктов. Рыбоводство.

КондитерПром. Производство кондитерских изделий.

ХлебПром. Производство хлебобулочных изделий

ЗерноПром. Переработка зерна. Производство муки, макаронных изделий

ФруктПром. Переработка овощей и фруктов, производство консервов.

МолТех. Производство молочных продуктов, сыров. **Розлив.** Розлив жидких, вязких продуктов питания и напитков. Емкостное оборудование.

Напитки. Производство напитков.

Мороженое. Оборудование для производства мороженого.

Ингредиенты. Ингредиенты, добавки, специи. Технологии производства и применения.

ИнгредиентТех. Оборудование для производства ингредиентов.

Холод. Холодильное и морозильное оборудование.

УпакМаш. Упаковочное оборудование и материалы. Дозировка, фасовка, маркировка.

Пищевая безопасность. Пищевая безопасность и контроль качества.

Комплект. Комплектующие, агрегаты и материалы для пищевой промышленности.

Организатор выставки:

ЦВК «Экспоцентр», 123100, Россия, Москва, Краснопресненская набережная, 14

<https://www.agroprod mash-expo.ru/>

