

ОБРАБОТКА И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Д. С. Джураев

*Кафедра электроснабжения и автоматики, juraev77@mail.ru;
Политехнический институт Таджикского технического
университета имени академика М. С. Осими,
г. Худжанд, Республика Таджикистан*

Ключевые слова: железный порошок; магнитная жидкость; магнитное поле; температуропроводность; теплоемкость; теплопроводность.

Аннотация: Приведены результаты экспериментальных исследований температуро- и теплопроводности магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла, в зависимости от воздействия магнитного поля в интервале $B = 1,59 \dots 3,866$ мТл, и добавки железного порошка $0,1 \dots 0,3$ г с интервалом $0,05$ г. Получены уравнения для вычисления с определенной долей погрешности температуро- и теплопроводности неисследованных магнитных жидкостей.

Проблемы получения магнитных жидкостей и применения их в различных областях современной науки и техники, биологии и медицины являются актуальными, как и задачи исследования теплофизических свойств межчастичных взаимодействий, ориентационных эффектов, развивающихся в магнитных жидкостях под действием магнитного поля, давления и температуры. Большое теоретическое значение представляет собой исследование магнитных жидкостей, что связано с фундаментальными теплофизическими проблемами.

На разработанной экспериментальной установке для определения влияния магнитного поля на изменение температуропроводности магнитных жидкостей методом лазерной вспышки исследованы и получены опытные данные по теплопроводности, теплоемкости и температуропроводности коллоидных магнитных жидкостей на основе трансформаторного масла с добавкой железного порошка в интервале температур $T = 298 \dots 423$ К, давлении $P = 0,101 \dots 0,141$ МПа и векторе индукции магнитного поля $B = 1,59 \dots 3,866$ мТл. Методика измерений и экспериментальная установка подробно представлены в работах [1 – 4].

Для обобщения экспериментальных данных по температуропроводности трансформаторного масла, в зависимости от концентрации железного порошка, плотности и воздействия магнитного поля при атмосферном давлении, использовали соотношение

$$\frac{a_B}{a_{B_1}} = f\left(\frac{B}{B_1}\right), \quad (1)$$

где a_B , a_{B_1} – температуропроводности испытуемого образца в зависимости от воздействия магнитного поля B , при котором проводятся испытания, и его среднего значения B_1 , $B_1 = 2,8$ мТл, соответственно.

Рассмотрим зависимость относительной температуропроводности исследуемого объекта a_B/a_{B_1} от относительного магнитного поля B/B_1 (рис. 1).

Все экспериментальные данные по температуропроводности укладываются вдоль общей линии, которая описывается уравнением

$$a_B = \left[0,19 \left(\frac{B}{B_1} \right) + 0,81 \right] a_{B_1}. \quad (2)$$

Значение a_{B_1} является функцией концентрации железного порошка

$$a_{B_1} = f(m).$$

Экспериментальные значения температуропроводности трансформаторного масла в зависимости от добавки железного порошка m при $B_1 = 2,8$ мТл:

$m_{Fe}, 10^{-3} \text{ кг}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$a_{B_1} \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$	1,018	1,202	1,3	1,47	1,6

Линия (рис. 2) описывается уравнением

$$a_{B_1} = 2,9 \cdot 10^{-4} m + 0,73 \cdot 10^{-7}. \quad (3)$$

Значение a_{B_1} является функцией плотности образца

$$a_{B_1} = f(\rho).$$

Экспериментальные значения температуропроводности магнитных жидкостей в зависимости от плотности ρ при $B_1 = 2,8$ мТл:

$\rho, \text{ кг/м}^3$	1 027	1 102	1 177	1 260	1 331
$a_{B_1} \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$	1,018	1,202	1,3	1,47	1,6

Линия, изображенная на рис. 2, представлена уравнением

$$a_{B_1} = 1,93 \cdot 10^{-10} \rho - 0,946 \cdot 10^{-7}. \quad (4)$$

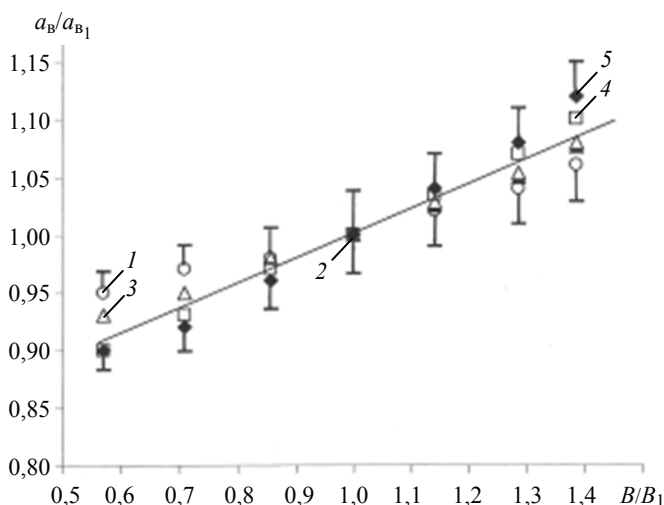


Рис. 1. Зависимость относительной температуропроводности исследуемого объекта a_B/a_{B_1} от относительного магнитного поля B/B_1 при плотности, кг/м^3 : 1 – 1027; 2 – 1102; 3 – 1177; 4 – 1260; 5 – 1331

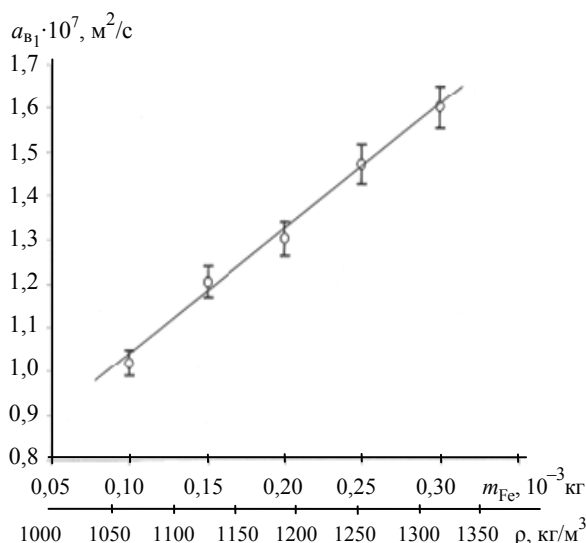


Рис. 2. Зависимости температуропроводности исследуемого объекта от добавки железного порошка $a_{B1} = f(m)$ (а) и плотности $a_{B1} = f(\rho)$ (б)

Из уравнения (2), с учетом (3) и (4), для расчета температуропроводности системы «трансформаторное масло + железный порошок» в зависимости от давления получим:

$$a_B = \left[0,19 \left(\frac{B}{B_1} \right) + 0,81 \right] \left(2,9 \cdot 10^{-4} m + 0,73 \cdot 10^{-7} \right); \quad (5)$$

$$a_B = \left[0,19 \left(\frac{B}{B_1} \right) + 0,81 \right] \left(1,93 \cdot 10^{-10} \rho - 0,946 \cdot 10^{-7} \right). \quad (6)$$

С помощью уравнений (5) и (6) можно вычислить с погрешностью до 3 % температуропроводность неисследованных жидкостей, в зависимости от воздействия магнитного поля при комнатной температуре и атмосферном давлении. Для этого необходимо знать только массовое значение концентрации или плотность неисследованных жидкостей.

Для обобщения экспериментальных данных по теплопроводности трансформаторного масла в зависимости от концентрации железного порошка, плотности и воздействия магнитного поля при атмосферном давлении используем соотношение

$$\frac{\lambda_B}{\lambda_{B1}} = f \left(\frac{B}{B_1} \right), \quad (7)$$

где λ_B, λ_{B1} – теплопроводности испытуемого образца соответственно в зависимости от B и B_1 .

Экспериментальные данные по теплопроводности располагаются вдоль общей кривой (рис. 3), представленной уравнением

$$\lambda_B = \left[0,2 \left(\frac{B}{B_1} \right) + 0,8 \right] \lambda_{B1}. \quad (8)$$

Значения λ_{B1} являются функцией концентрации железного порошка

$$\lambda_{B1} = f(m).$$

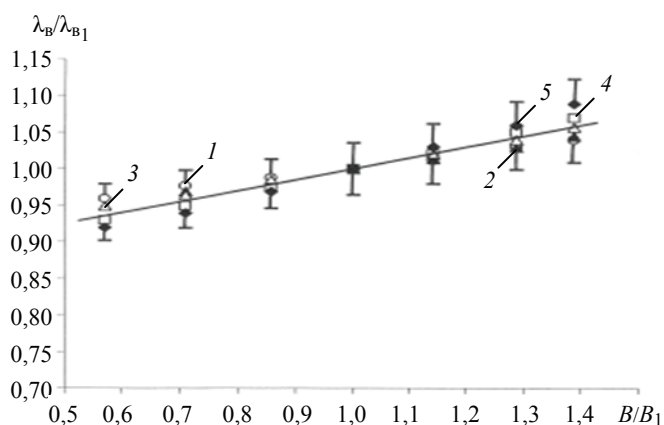


Рис. 3. Зависимость относительной теплопроводности исследуемого объекта λ_B/λ_{B1} от относительного магнитного поля B/B_1 при массе порошка, г:
 1 – 0,10; 2 – 0,15; 3 – 0,20; 4 – 0,25; 5 – 0,30

Экспериментальные значения теплопроводности трансформаторного масла в зависимости от добавки железного порошка при $B_1 = 2,8$ мТл:

$m_{Fe}, 10^{-3}$ кг	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$\lambda_{B1} \cdot 10^{-3}$, Вт/(м·К)	118,1	138,4	153,3	168,5	178,9

Кривая линия (рис. 4) описывается уравнением

$$\lambda_{B1} = -557133,5m^2 + 526,6m + 7,126 \cdot 10^{-2}. \quad (9)$$

Значение λ_{B1} является функцией плотности образца

$$\lambda_{B1} = f(\rho).$$

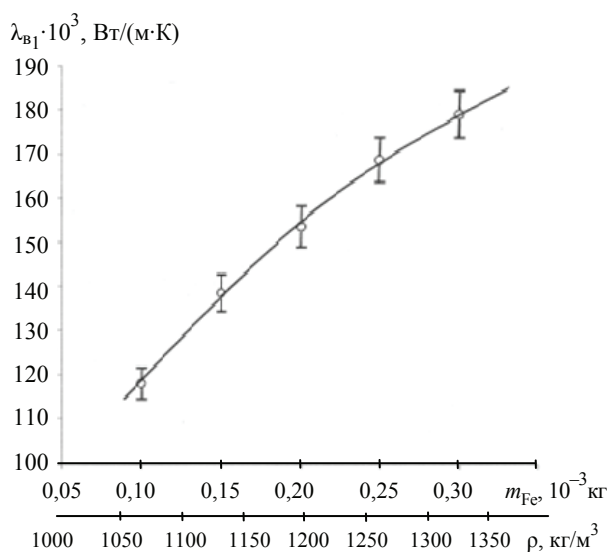


Рис. 4. Зависимости теплопроводности исследуемого объекта от добавки железного порошка $\lambda_{B1} = f(m)$ (а) и плотности $\lambda_{B1} = f(\rho)$ (б)

Экспериментальные значения теплопроводности магнитных жидкостей в зависимости от плотности при $B_1 = 2,8$ мТл:

ρ , кг/м ³	1 027	1 102	1 177	1 260	1 331
$\lambda_{B_1} \cdot 10^3$, Вт/(м·К)	118,1	138,4	153,3	168,5	178,9

Кривая линия (см. рис. 4) описывается уравнением

$$\lambda_{B_1} = -2,44 \cdot 10^{-7} \rho^2 + 7,736 \cdot 10^{-4} \rho - 0,4187. \quad (10)$$

Из уравнения (8), с учетом (9) и (10), для расчета теплопроводности системы «трансформаторное масло + железный порошок», в зависимости от магнитного поля, получим:

$$\lambda_B = \left[0,2 \left(\frac{B}{B_1} \right) + 0,8 \right] \left(-557133,5m^2 + 526,6m + 7,126 \cdot 10^{-2} \right); \quad (11)$$

$$\lambda_B = \left[0,2 \left(\frac{B}{B_1} \right) + 0,8 \right] \left(-2,44 \cdot 10^{-7} \cdot \rho^2 + 7,736 \cdot 10^{-4} \cdot \rho - 0,4187 \right). \quad (12)$$

С помощью уравнений (11) и (12) можно вычислить, с погрешностью до 3 %, теплопроводность неисследованных жидкостей в зависимости от воздействия магнитного поля, при комнатной температуре и атмосферном давлении. Для этого необходимо знать только массовое значение концентрации или плотность неисследованных жидкостей.

Список литературы

1. Башарин, А. Ю. Методика экспериментального исследования оптических характеристик тугоплавких металлов при сверхвысоких температурах / А. Ю. Башарин, А. В. Кириллин, М. А. Шейндлин // Теплофизика высоких температур. – 1984. – Т. 22, № 1. – С. 131 – 137.
2. Мирошниченко, В. И. Экспериментальная установка с импульсным лазерным нагревом для исследования теплопроводности и теплоемкости твердых тел при высоких температурах / В. И. Мирошниченко, В. В. Махров, М. В. Ребров // Сб. материалов 9-й Теплофизической конф. СНГ. – Махачкала, 1992. – С. 22–23.
3. Пат. 0900294 Республика Таджикистан, МПК G01N 27/00. Устройство для определения влияния магнитного поля на изменение температуропроводности магнитных жидкостей / Д. С. Джураев, М. М. Сафаров, Ш. З. Нажмудинов, М. А. Зарипова, Х. А. Зоиров, Т. Р. Тиллоева ; заявители и патентообладатели Д. С. Джураев, М. М. Сафаров ; заявл. 31.03.09 ; опубл. 17.06.10, Бюл. № TJ 229.
4. Пат. 0900357 Республика Таджикистан, МПК G01N 21/00. Способ определения теплопроводности магнитных жидкостей методом лазерной вспышки / Д. С. Джураев, М. М. Сафаров, Ш. З. Нажмудинов, М. А. Зарипова ; заявители и патентообладатели Д. С. Джураев, М. М. Сафаров ; заявл. 25.09.09 ; опубл. 07.04.10, Бюл. № TJ 316.
5. Джураев, Д. С. Исследование теплофизических свойств магнитных жидкостей / Д. С. Джураев, М. М. Сафаров // Измерительная техника. – 2016. – № 7. – С. 43 – 45.

Processing and Generalization of Experimental Data on Thermal Diffusivity and Thermal Conductivity of Magnetic Fluids Depending on the Impact of the Magnetic Field

D. S. Dzhurayev

*Department of Power Supply and Automation, juraev77@mail.ru;
Polytechnic Institute of Tajik Technical University
named after academician M. S. Osimi, Khujand, Republic of Tajikistan*

Keywords: iron powder; magnetic fluid; a magnetic field; thermal diffusivity; heat capacity; thermal conductivity.

Abstract: The paper presents the results of experimental studies of the thermal diffusivity and thermal conductivity of magnetic fluids based on transformer oil, depending on the effect of a magnetic field in the range of $B = 1.59 \dots 3.866$ mT, and the addition of iron powder 0.1...0.3 g with an interval of 0.05 g. Equations were obtained for calculation with a certain fraction of error in thermal diffusivity and thermal conductivity of unexplored magnetic fluids.

References

1. Basharin A.Yu., Kirillin A.V., Sheyndlin M.A. [Technique of experimental study of optical characteristics of refractory metals at ultrahigh temperatures], *Teplofizika vysokikh temperatur* [Thermal physics of high temperatures], 1984, vol. 22, no. 1, pp. 131-137. (In Russ.)
2. Miroshnichenko V.I., Makhrov V.V., Rebrov M.V. [Experimental setup with pulsed laser heating for the study of thermal conductivity and heat capacity of solids at high temperatures], *Sbornik materialov 9-y Teplofizicheskoy konferentsii SNG* [Collection of materials 9- th Thermophysical Conference of the CIS], Makhachkala, 1992, pp. 22-23. (In Russ.)
3. Dzhurayev D.S., Safarov M.M., Nazhmudinov Sh.Z., Zaripova M.A., Zoirov Kh.A., Tilloyeva T.R. *Ustroystvo dlya opredeleniya vliyaniya magnitnogo polya na izmeneniye temperaturoprovodnosti magnitnykh zhidkostey* [A device for determining the influence of a magnetic field on a change in the thermal diffusivity of magnetic fluids], Republic of Tajikistan, 2010, Pat. 0900294. (In Russ.)
4. Dzhurayev D.S., Safarov M.M., Nazhmudinov Sh.Z., Zaripova M.A. *Sposob oprede-leniya teploprovodnosti magnitnykh zhidkostey metodom lazernoy vspyshki* [Method for determining the thermal conductivity of magnetic fluids by the laser flash method], Republic of Tajikistan, 2010, Pat. 0900357. (In Russ.)
5. Dzhurayev D.S., Safarov M.M. [Research of thermophysical properties of magnetic fluids], *Izmeritel'naya tekhnika* [Measuring equipment], 2016, no. 7, pp. 43-45. (In Russ., abstract in Eng.)

Verarbeitung und Verallgemeinerung experimenteller Daten zur Temperaturleitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit magnetischer Flüssigkeiten in Abhängigkeit vom Einfluss des Magnetfeldes

Zusammenfassung: Die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zur Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit von Magnetflüssigkeiten auf Basis von Transformatorenöl in Abhängigkeit von der Wirkung des Magnetfeldes im Bereich

$B = 1.59...3.866$ mTl und der Zugabe von Eisenpulver $0.1...0.3$ g mit einem Intervall von 0.05 g sind angegeben. Es sind Gleichungen erhalten, um mit einem gewissen Fehler die Temperatur und Wärmeleitfähigkeit von unerforschten magnetischen Flüssigkeiten zu berechnen.

Traitement et généralisation des données expérimentales de conductivité thermométrique et la conductivité thermique des liquides magnétiques en fonction de l'influence du champ magnétique

Résumé: Sont cités les résultats des études expérimentales de conductivité thermométrique et la conductivité thermique des liquides magnétiques à la base de l'huile à transformateur en fonction de l'influence du champ magnétique dans l'intervalle de $B = 1.59...3.866$ mT, et des suppléments de fer en poudre $0.1...0.3$ g avec un intervalle de 0.05 g. Sont obtenues des équations pour le calcul avec une certaine marge d'erreur de conductivité thermométrique et la conductivité thermique des liquides magnétiques inexplorés.

Автор: *Джуроев Дадахон Собирджонович* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электроснабжения и автоматики, Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, г. Худжанд, Республика Таджикистан.

Рецензент: *Мищенко Сергей Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника и технологические измерения», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.