



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 536.24

СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ И ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЛАМИНАРНОЙ ОБЛАСТИ ТЕЧЕНИЯ В КРУГЛОЙ ТРУБЕ ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВТОРОГО РОДА

Канарейкин А.И.

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)», Москва, Россия (117485, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23), e-mail: kanareykins@mail.ru

Статья посвящена вопросам теплопередачи в круглой трубе. Предметом исследования является процесс теплообмена при естественной конвекции и при естественной циркуляции в круглой трубе. Основной задачей работы является сравнение процессов переноса тепла. Показано их принципиальное физическое отличие. При этом теплообмен происходит при граничных условиях второго рода. Приведены функциональные зависимости безразмерной температуры и числа Нуссельта. Приведённый анализ может быть полезным, как для дальнейших теоретических исследований в данной области, так и для решения практических задач по теплообмену.

Ключевые слова: Теплопередача, естественная конвекция, естественная циркуляция, коэффициент сопротивления, ламинарное течение, температурное поле, тепловой поток, граничное условие второго рода.

COMPARISON OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS UNDER NATURAL CONVECTION AND UNDER NATURAL CIRCULATION IN THE LAMINAR FLOW REGION IN A ROUND TUBE UNDER BOUNDARY CONDITIONS OF THE SECOND KIND

Kanareykin A. I.

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia (117485, Moscow, Miklukho-Maklaya st., 23), e-mail: kanareykins@mail.ru

The article is devoted to the issues of heat transfer in a round pipe. The subject of the study is the process of heat exchange during natural convection and natural circulation in a round tube. The main task of the work is to compare the processes of heat transfer. Their fundamental physical difference is shown. In this case, heat exchange occurs under boundary conditions of the second kind. Functional dependences of dimensionless temperature and Nusselt number are given. The above analysis can be useful both for further theoretical research in this field and for solving practical problems of heat exchange.

Keywords: Heat transfer, natural convection, natural circulation, resistance coefficient, laminar flow, temperature field, heat flow, boundary condition of the second kind.

Процессы теплообмена играют исключительную роль в природе и технике. Особую роль играют естественная конвекция и естественная циркуляция. Как известно, под конвекцией теплоты понимается перенос теплоты при перемещении микрочастиц жидкости или газа в пространстве из области с одной температурой в область с другой температурой [1-6]. Конвекция возможна только в текучей среде, в которой перенос теплоты неразрывно связан с переносом самой среды. Если движение жидкости или газа, полностью обусловлено внутренними силами системы, то такое движение называют свободной или естественной конвекцией. Необходимо отметить, что существует и вынужденная или принудительная конвекция, при которой скорость жидкости определяется внешними силами.

Главным же условием свободно конвективного движения является неравномерность распределения плотностей, которая определяется неравномерностью температурного поля.

Если движение не является в чистом виде естественно-конвективным. В таких случаях говорят о так называемой естественной циркуляции.

Принятый термин «естественная циркуляция», а не «естественная конвекция», отражает отличие этих процессов: естественная конвекция развивается в пространстве, где любым градиентом статического давления (кроме гидростатического) можно пренебречь. Естественная циркуляция воды возникает и развивается при наличии небольших градиентов статического давления, определяемых разностью гидростатических давлений, образовавшихся из-за разной плотности воды в окружающей среде и элементах теплообменника и циркуляционной системы. Использование естественной циркуляции дает ряд важных преимуществ: малый расход энергии на собственные нужды, отсутствие побудителя движения охлаждающей воды и, как следствие, отсутствие средств автоматизации, контроля и управления, упрощение схем конденсационных установок и повышение их надежности.

Проведём анализ температурных полей для двух случаев. В случае естественной конвекции температурное поле вдали от входа в трубу описывается уравнением [7]:

$$\theta = \frac{4}{Pe} \frac{x}{d} + \frac{1}{2} R^2 - \frac{1}{8} R^4 - \frac{7}{48} \quad (1)$$

Как видим полученный результат, соответствующий области удаленной от входа в трубу, характеризуется одинаковым законом распределение температуры по радиусу в различных сечениях трубы линейным изменением температуры по длине.

В случае естественной циркуляции [8-10] уравнение безразмерной температуры имеет вид:

$$\theta = \frac{4}{Pe} \frac{x}{d} + \frac{1}{2} R^2 - \frac{1}{8} R^4 - \frac{3}{40} + \left(\frac{1}{8} R^3 - \frac{33}{100} R^2 + \frac{3}{10} \right) \cos \varphi \quad (2)$$

В этом случае температура также характеризуется линейным изменением по длине, но неодинаковым законом распределения температуры по радиусу.

Теперь сравним значения безразмерных чисел, характеризующих эти процессы. Предельное число Нуссельта в случае естественной конвекции равно [11, 12]

$$Nu = \frac{48}{11} \approx 4,36 \quad (3)$$

что говорит о постоянстве числа Нуссельта. В случае естественной циркуляции значение числа Nu на стенке теплообменника не постоянно и равно

$$Nu = \frac{1}{0,3 - 0,2 \cos \varphi} \quad (4)$$

а среднее значение числа Нуссельта равно

$$Nu = 4,47 \quad (5)$$

Как видим, данное значение близко предельному числу Нуссельта в первом случае (3).

Таким образом в статье было показано принципиальное физическое отличие естественной конвекции от естественной циркуляции. Приведены функциональные зависимости безразмерной температуры и числа Нуссельта. Выявлено, что температура в обоих случаях характеризуется линейным изменением по длине, но неодинаковым законом распределения температуры по радиусу. Приведённый анализ может быть полезным, как для дальнейших теоретических исследований в данной области, так и для решения практических задач по теплообмену.

Список литературы

1. Мартыненко О.Г., Соковишин Ю.А., «Свободно – конвективный теплообмен»: справочник. Минск: Наука и техника, 1982.
2. Соковишин Ю.А., Мартыненко О.Г., «Введение в теорию свободно – конвективного теплообмена». Л.: изд-во ЛГУ, 1982.
3. Петражицкий Г.Б., Ключников Ф.В., Бекнева Е.В. «Численные исследования свободно-конвективных циркуляционных течений и процессов переноса тепла в замкнутых полостях различной конфигурации». М.: Наука, 1975.
4. Берковский Б.М., Полевиков В.К. «Исследования теплообмена в условиях высокоинтенсивной свободной конвекции». В кн.: Теплообмен-1974. М.: Наука, 1975.
5. Петухов Б. С. и Поляков А. Ф. О влиянии свободной конвекции на теплоотдачу при вынужденном течении в горизонтальной трубе, «Теплофизика высоких температур», 1967, т. 5, № 2.
6. Li, Ji Difference Scheme for Hyperbolic Heat Conduction Equation with Pulsed Heating Boundary. Journal of Thermal Science, 20009. (2) P.152 – 157.
7. Петухов Б. С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах, «Энергия», 1967. 412с.
8. Канарейкин А. И. Теплообмен при естественной циркуляции внутри труб теплообменника с вытяжной шахтой при ламинарном течении: дис. канд. техн. наук. Калуга, 2011. 113 с.
9. Канарейкин А. И. Теплообмен при естественной циркуляции внутри труб теплообменника с вытяжной шахтой при ламинарном течении: автореф. дис. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 20 с.

Канарейкин А.И. Сравнение процесса теплообмена при естественной конвекции и при естественной циркуляции в ламинарной области течения в круглой трубе при граничных условиях второго рода // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8 № 5(31) ч.1 с. 85–89

10. Мильман О.О., Канарейкин А. И. Исследование теплообмена в области ламинарного течения при естественной циркуляции внутри труб теплообменника с вытяжной шахтой // Вестник Калужского университета. 2008. № 3. С. 9-11.
11. Канарейкин А. И. Решение задачи теплообмена при естественной циркуляции внутри теплообменника с вытяжной шахтой в ламинарной области течения // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. Челябинск, 2009. №11. С.328-333.
12. Канарейкин А. И. Определение коэффициента сопротивления внутри горизонтального теплообменника при естественной циркуляции // В сборнике: Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского. Региональная университетская научно-практическая конференция. Сер. "Естественные науки" Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского. 2015. С. 200-202.

References

1. Martynenko O.G., Sokovishin Yu.A., "Free –convective heat transfer": handbook. Minsk: Science and Technology, 1982.
2. . Sokovishin Yu.A., Martynenko O.G., "Introduction to the theory of free–convective heat transfer". L.: LSU Publishing House, 1982.
3. Petrazhitsky G.B., Klyushnikov F.V., Bekneva E.V. "Numerical studies of free-convective circulation flows and heat transfer processes in closed spaces of various configurations". Moscow: Nauka, 1975.
4. Berkovsky B.M., Polevikov V.K. "Studies of heat transfer in conditions of high-intensity free convection". In: Heat exchange-1974. Moscow: Nauka, 1975.
5. Petukhov B. S. and Polyakov A. F. On the effect of free convection on heat transfer during forced flow in a horizontal pipe, "High temperature Thermophysics", 1967, vol. 5, No. 2.
6. Li, Ji Difference Scheme for Hyperbolic Heat Conduction Equation with Pulsed Heating Boundary. Journal of Thermal Science, 20009. (2) pp.152 – 157.
7. Petukhov B. S. Heat exchange and resistance during laminar flow of liquid in pipes, Energia, 1967 p.412
8. Kanarekin A. I. Heat exchange during natural circulation inside the pipes of a heat exchanger with an exhaust shaft during laminar flow: dis. candidate of Technical Sciences. Kaluga, 2011 p.113
9. Kanarekin A. I. Heat exchange during natural circulation inside the heat exchanger pipes with an exhaust shaft during laminar flow: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Esa-Edinburgh, 2011 p.20
10. Milman O.O., Kanareykin A. I. Investigation of heat transfer in the field of laminar flow with natural circulation inside the pipes of a heat exchanger with an exhaust shaft // Bulletin of Kaluga University. 2008. No. 3. pp. 9-11.
11. Kanareykin A. I. Solving the problem of heat exchange with natural circulation inside a heat exchanger with an exhaust shaft in the laminar flow region // Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University. Chelyabinsk, 2009. No. 11. pp. 328-333.

Канарейкин А.И. Сравнение процесса теплообмена при естественной конвекции и при естественной циркуляции в ламинарной области течения в круглой трубе при граничных условиях второго рода // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8 № 5(31) ч.1 с. 85–89

12. Kanarekin A. I. Determination of the coefficient of resistance inside a horizontal heat exchanger with natural circulation // In the collection: Scientific works of K.E. Tsiolkovsky Kaluga State University. Regional University scientific and practical conference. Ser. "Natural Sciences" Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky. 2015. pp. 200-202.
-