



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

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



УДК 536.24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВНУТРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТЕПЛООБМЕННОЙ ТРУБЫ

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 внутри горизонтальной теплообменной трубы. Предметом исследования является безразмерный коэффициент сопротивления при естественной циркуляции жидкости внутри горизонтальных труб теплообменника. Теплообмен происходит при граничных условиях второго рода. При этом была учтена несимметричность температурного поля вдоль горизонтальной оси. В настоящей работе было получено что, коэффициент сопротивления в случае естественной циркуляции равен коэффициенту сопротивления при течении в круглой трубе при ламинарном течении. Полученный результат может быть полезным для дальнейших теоретических исследований в данной области.

Ключевые слова: Теплообмен, теплопроводность, граничное условие второго рода, естественная циркуляция, естественная конвекция, ламинарное течение, температурное поле, число Нуссельта.

DETERMINATION OF RESISTANCE DURING NATURAL CIRCULATION INSIDE A HORIZONTAL HEAT EXCHANGE TUBE

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 inside a horizontal heat exchange pipe. The subject of the study is the dimensionless coefficient of resistance in the natural circulation of liquid inside the horizontal pipes of the heat exchanger. Heat exchange occurs under boundary conditions of the second kind. The asymmetry of the temperature field along the horizontal axis was taken into account. In this paper, it was found that the coefficient of resistance in the case of natural circulation is equal to the coefficient of resistance in the flow in a round tube with laminar flow. The obtained result may be useful for further theoretical research in this field.

Keywords: Heat transfer, thermal conductivity, boundary condition of the second kind, natural circulation, natural convection, laminar flow, temperature field, Nusselt number.

В природе и современной технике важную роль играют процессы переноса тепла и массы. Среди них заметное место занимает естественная конвекция и естественная циркуляция, возникающие в неоднородном поле массовых сил. Особенно большое значение проблема естественной конвекции приобретает для новой техники, в частности, для атомной энергетики и электроники. Появились многочисленные приложения теории в энергетике,

химической технологии, строительстве, сельском хозяйстве, геофизики, астрофизики, причем в разных отраслях уровень научных исследований, инженерно-технических разработок различен. В связи с поиском новых возобновляемых источников энергии и экономии ресурсов появляются промышленные процессы, основанные непосредственно на механизме естественной циркуляции (системы пассивного расхолаживания и пр.). Отсутствие ряда дорогостоящего оборудования (насосов, вентиляторов, пусковой аппаратуры...) дает экономию энергоресурсов и повышает надежность свободно-конвективных систем теплообмена по сравнению с другими. В атомной энергетике, в связи с необходимостью безопасной работы АЭС, свободно-конвективный теплообмен является основным механизмом охлаждения активной зоны реактора при аварийных режимах.

Естественная циркуляция играет важную роль в работе некоторых тепловых аппаратов и устройств. Она возникает и развивается при наличии небольших градиентов статического давления, возникающей из-за разной плотности воды в окружающей среде и элементах теплообменника и циркуляционной системы.

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.

К настоящему времени процессы теплообмена при естественной циркуляции внутри обогреваемых труб изучены недостаточно хорошо. Несмотря на то, что её применение имеет ряд важных преимуществ: малый расход энергии на собственные нужды, отсутствие побудителя движения охлаждающей воды [1-5].

Основной целью работы является исследование процесса переноса тепла при естественной циркуляции в круглой трубе. При этом теплообмен происходит при граничных условиях второго рода. Задачей является определение одного из гидродинамических параметров.

Значения коэффициента сопротивления, в общем случае можно найти по формуле [6]:

$$\xi \text{Re} = \frac{8}{s} \int_s \left(\frac{\partial W_x}{\partial N} \right)_{N=0} ds \quad (1)$$

Экспериментальные данные позволяют сделать вывод о несимметричности температурного поля вдоль горизонтальной оси. На следующем графике представлено распределение температуры воды и температуры стенки теплообменника по сечению (Рисунок 1) [7-9]:

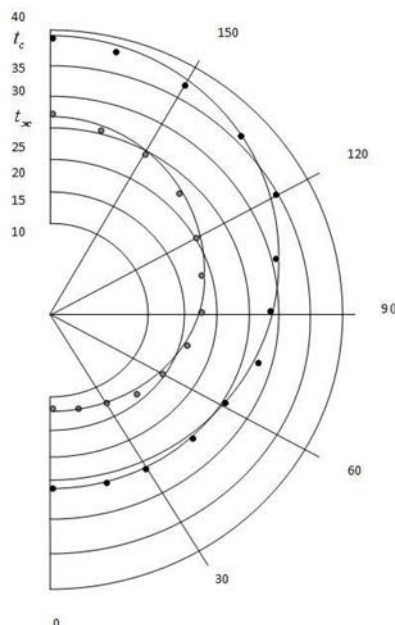


Рисунок 1 – Распределение температур воды и стенки теплообменника по сечению.

В этом случае профиль скорости задан в виде безразмерного уравнения [10, 11]:

$$W_x = 2(1 - R^2) + 4(R^2 - R)\cos(\varphi) \quad (2)$$

где: R – безразмерный радиус, φ - угол поворота.

Найдём частную производную от скорости:

$$\frac{\partial W_x}{\partial N} = 8R - 8(2R - 1)\cos(\varphi) \quad (3)$$

или:

$$\left(\frac{\partial W_x}{\partial N}\right)_{N=0} = 8 - 16\cos(\varphi) \quad (4)$$

Проинтегрируем выражение (4):

$$\xi \text{Re} = \frac{8}{2\pi} \int_0^{2\pi} (8 - 16\cos\varphi) d\varphi = \frac{4}{\pi} (8\varphi - 16\sin\varphi) \Big|_0^{2\pi} = 64 \quad (5)$$

откуда:

$$\xi \text{Re} = 64 \quad (6)$$

Как видим, безразмерный коэффициент сопротивления такой же, как и при ламинарном течении [12].

В настоящей работе исследован вопрос расчёта сопротивления при естественной циркуляции внутри горизонтальной теплообменной трубы. В ходе математического моделирования получено что, коэффициент сопротивления в случае естественной циркуляции равен коэффициенту сопротивления при течении в круглой трубе при ламинарном течении. Поэтому расчёт в обоих случаях может производиться одинаково.

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. Канарейкин А. И. Теплообмен при естественной циркуляции внутри труб теплообменника с вытяжной шахтой при ламинарном течении: дис. канд. техн. наук. Калуга, 2011. 113 с.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Петухов Б. С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах, «Энергия», 1967. 412с.

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., Polevnikov 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. 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
 8. 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
 9. 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.
 10. 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.
 11. 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.
 12. Petukhov B. S. Heat exchange and resistance during laminar flow of liquid in pipes, Energia, 1967. p. 412
-