

03

Измерение коэффициента объемного теплового расширения для ряда наножидкостей

© А.К. Нэйяк, Р.К. Сингх, П.П. Кулкарни

Отделение атомного машиностроения
Атомный исследовательский центр в Бхабхе
Индия, 400085 Мумбай, Тромбэй
E-mail: arunths@barc.gov.in

Поступило в Редакцию 27 декабря 2009 г.

С целью изучения возможности использования некоторых наножидкостей в системах теплоотвода с естественной конвекцией было экспериментально исследовано их объемное тепловое расширение. Для этой цели были выбраны наночастицы Al_2O_3 , CuO , SiO_2 и TiO_2 , которые приводились в состояние взвеси в базовой жидкости (воде) путем облучения ультразвуком. Наножидкости имели одну и ту же концентрацию 1 wt.%. Все они нагревались от комнатной температуры примерно до $60^\circ C$. При нагревании измерялось увеличение объема жидкости. Увеличение объема при нагревании каждой из наножидкостей сравнивалось с увеличением объема базовой жидкости, подвергаемой точно такому же нагреву. На основе этих измерений вычислялся коэффициент объемного теплового расширения. Неожиданно оказалось, что наножидкости имеют более высокий, чем базовая жидкость, коэффициент объемного теплового расширения.

В последнее время наножидкости стали привлекать к себе внимание исследователей своими многообещающими теплопередающими свойствами [1–3]. Но влияние наночастиц, взвешенных в базовой жидкости, на ее термодинамические свойства так и не было понято, хотя этот эффект должен быть очень хорошо известен, прежде чем наножидкости смогут быть использованы в промышленных масштабах. Свойство теплового расширения является одним из тех свойств, которые играют важную роль в работе многих систем теплоотвода с естественной конвекцией. Обычно для частиц окислов металлов объемный коэффициент теплового расширения β можно считать пренебрежимо малым по сравнению с соответствующим коэффициентом воды. Поэтому предполагается, что

Таблица 1. Параметры исследованных наножидкостей

Наночастицы	Размеры, nm
Al ₂ O ₃	40–80
CuO	50
SiO ₂	15
TiO ₂	50

при увеличении концентрации наночастиц в жидкости коэффициент ее объемного теплового расширения должен убывать. Такие соображения были положены в основу теоретической оценки коэффициента теплового расширения наножидкостей [4,5]. Чтобы разобраться в свойствах теплового расширения наножидкостей, ранее мы провели ряд экспериментов с взятыми в различных концентрациях наночастицами Al₂O₃, взвешенными в воде при различных температурных условиях [6]. Было установлено, что когда размеры взвешенных частиц лежат в пределах 40–80 nm, то при соответствующем росте температуры объем наножидкости с Al₂O₃ увеличивается на заметно большую величину, чем объем базовой жидкости, т. е. воды, что противоречит более ранним представлениям.

В настоящей работе изучались характеристики теплового расширения некоторых наножидкостей и сравнивались с соответствующими характеристиками базовой жидкости (воды). В экспериментах использовались взвешенные в воде наночастицы Al₂O₃, CuO, SiO₂ и TiO₂ с концентрацией 1 wt.%. В табл. 1 приводятся параметры этих наночастиц. На рис. 1 изображена схема экспериментальной установки. Установка состоит из стеклянной колбы с длинным калиброванным горлом. В колбу помещается или вода, или заранее приготовленная наножидкость, после чего колба нагревается на горячей водяной бане при одинаковых для всех жидкостей начальных условиях. Увеличение объема для всех жидкостей регистрируется и сравнивается при различных температурах.

Наножидкости на основе воды приготавливались путем добавления в воду необходимой концентрации наночастиц. Для предотвращения слипания и оседания частиц взвеси облучались ультразвуком в ультразвуковой ванне в течение времени, достаточного для обеспечения рав-

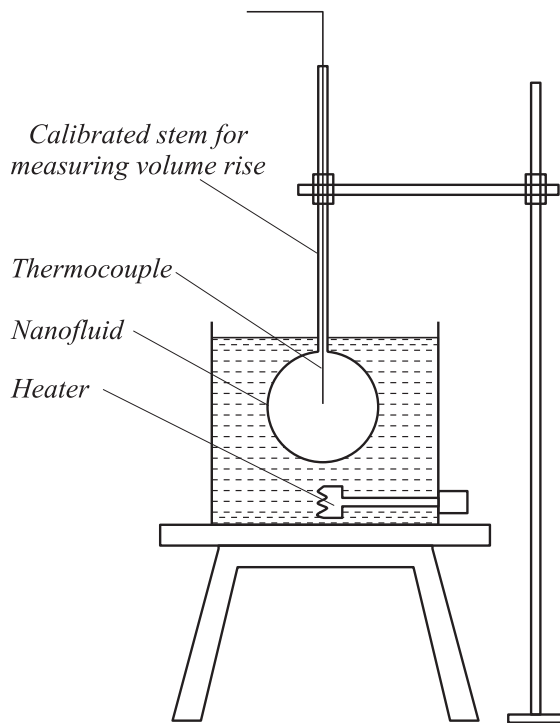


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

номерного распределения частиц в воде. Перед измерением теплового расширения обработанные ультразвуком наножидкости доводились до кипения и охлаждались до комнатной температуры для их дегазации.

Приготовленные таким образом наножидкости подвергались нагреву, начиная от начальной температуры, равной температуре окружающей среды ($\sim 30^\circ$). Температура жидкости измерялась двухмиллиметровой термопарой типа ТХА. Температура водяной бани постепенно поднималась таким образом, чтобы разница температур между водяной баней и жидкостью внутри колбы была небольшой. Это также способствует установлению равномерной температуры внутри колбы. Увеличение объема находящейся в колбе жидкости при нагревании

Таблица 2. Относительный рост объемного расширения как функция температуры

Нано-жидкости	ΔT , °C	$(\Delta V/V_0)_{nano}$	$(\Delta V/V_0)_{water}$	Увеличение по сравнению с водой, %	Ошибки измерения, %
Al ₂ O ₃	10	0.00395	0.003365	17.38	1.93
	15	0.00604	0.005351	12.88	1.28
	20	0.00815	0.007525	8.30	0.81
	25	0.0105	0.009881	6.26	0.5
	30	0.013	0.01241	4.75	0.73
CuO	10	0.004638	0.003742	23.96	2
	15	0.006772	0.005917	14.44	1.369863
	20	0.009555	0.008765	9.00	0.970874
	30	0.014286	0.01372	4.12	0.649351
TiO ₂	10	0.003989	0.003136	27.2	2.95787
	15	0.005844	0.005016	16.52	1.849546
	20	0.007839	0.007089	10.57	1.308522
	25	0.009879	0.009349	5.67	0.992283
	30	0.012199	0.011786	3.50	0.787103
SiO ₂	10	0.004453	0.003626	22.8	2.558291
	15	0.006772	0.005732	18.14	1.6183
	20	0.008905	0.008022	11.01	1.156364
	25	0.011317	0.010488	7.91	0.884496
	30	0.013915	0.013122	6.04	0.706913

регистрировалось во всем заданном интервале температур. В табл. 2 приводятся данные об увеличении объема некоторых наножидкостей и производится сравнение с водой.

На рис. 2 показывается разница (в процентах) в увеличении объема наножидкостей и воды при разных изменениях температуры. Как это и наблюдалось ранее [6], все наножидкости обнаруживают тенденцию к росту объемного расширения по сравнению с водой при одинаковом повышении температуры. На основании данных измерений для всех жидкостей был рассчитан коэффициент объемного теплового расширения β , и результаты расчета приводятся на рис. 3, *a–d*. Из

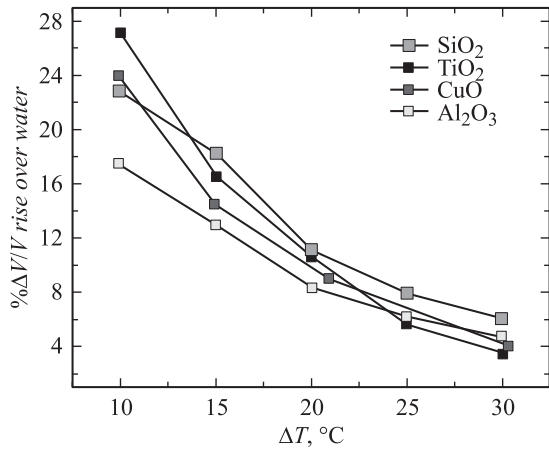


Рис. 2. Сравнение теплового расширения для различных наножидкостей.

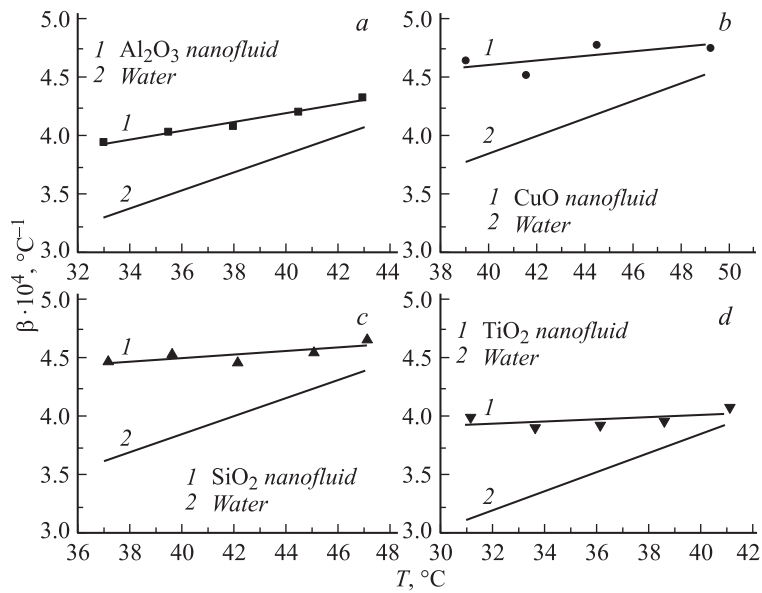


Рис. 3. Коэффициенты объемного расширения β различных наножидкостей по сравнению с водой.

всех протестированных жидкостей наножидкость с CuO имела самую большую, а наножидкость с TiO₂ — самую малую величину β . Во всех случаях при низких температурах коэффициент β наножидкости превышал коэффициент β воды на большую, чем при высоких температурах, величину.

Значительное увеличение теплового расширения наножидкостей по сравнению с базовой жидкостью — это одно из тех замечательных свойств наножидкостей, которое могло бы найти самое широкое применение во многих системах, использующих для отвода тепла естественную конвекцию. Однако до сих пор механизм взаимодействия наночастиц с жидкостью, который приводит к изменению ее термодинамических свойств, остается не изученным. Понадобится еще немало усилий для того, чтобы разобраться в сложном взаимодействии наночастиц с молекулами воды, что позволит добиться значительного увеличения коэффициента теплового расширения наножидкостей.

Список литературы

- [1] *Buongiorno J., Hu L.W., Apostolakis G., Hannink R., Lucas T., Chupin A.* // Nuclear Engineering and Design. 2009. V. 239. P. 941.
- [2] *Nayak A.K., Gartia M.R., Vijayan P.K.* // AIChE Journal. 2009. V. 55. P. 268.
- [3] *Hansson R.C., Park H. S., Shiferaw D., Sehgal B.R.* // The 11th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics (NURETH-11). Popes Palace Conference Center. Avignon, France. October 2–6 2005.
- [4] *Khanafar K., Vafai K., Lightstone M.* // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2003. V. 46. P. 3639.
- [5] *Ho C.J., Chen M.W., Li Z.W.* // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2008. V. 51. P. 4506.
- [6] *Nayak A.K., Singh R.K., Kulkarni P.P.* // Appl. Phys. Lett. 2009. V. 94. P. 094102.