

Численное исследование теплофизических свойств наножидкости в программном комплексе ANSYS

А.В. Швынденкова

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Обоснование. В научном мире проводится множество исследований, касающихся теплопроводящих способностей различных сред и материалов. Создаются новые формы теплообменных поверхностей, интенсифицирующие процессы теплообмена за счет увеличения и универсальности их форм, изучаются новые виды материалов, а также нестандартные и перспективные рабочие тела. Широкий спектр процессов, требующих тепла и энергии, имеет низкую эффективность из-за низкой теплопроводности рабочей жидкости. Спрос на более эффективные тепловые системы растет из-за многих экологических норм и стратегий энергосбережения в современном мире. Экономические причины побуждают исследователей искать новые решения. Одним из новых методов, который помогает ученым достичь этих целей, является использование наножидкостей в качестве теплоносителя. Наноразмерная технология — это относительно новая область науки, которая позволяет улучшать теплофизические параметры в различных аппаратах и технологических решениях. Наножидкость представляет собой коллоидную суспензию наноразмерных твердых частиц в базовой жидкости. Наножидкости могут быть использованы во многих научных областях, таких как процессы теплопередачи, производство поверхностно-активных веществ, покрытий, очистка от загрязнений, повышение нефтеотдачи пластов и новые медицинские методы. Необычные свойства наножидкостей, а именно их высокая теплопроводность, делают их особенно перспективным для изучения и использования рабочим телом. В качестве теплоносителя присутствие твердой фазы наночастиц улучшает теплофизические свойства жидкости и делает ее способной обладать более высокой эффективностью рассеивания/аккумулирования тепла по сравнению с ее базовой жидкостью.

Цель — исследование и сравнение теплопередачи моделей наножидкости, включающей воду в качестве основной жидкости с наночастицами Al_2O_3 и воды без добавления наночастиц. Было проведено численное исследование базовой жидкости и наножидкости с различными концентрациями наночастиц. Моделирование проводилось в режиме ламинарного течения с использованием метода конечного объема. Кроме того, было применено граничное тепловое условие постоянного равномерного теплового потока на стенке канала.

Методы. Для анализа использовалась программная система конечно-элементного анализа ANSYS Steady State. В работе были выделены две части. В первой части проводилось исследование модели со свойствами жидкости-воды, во второй — со свойствами наножидкости-воды с присутствием наночастиц различной концентрации. Область, использованная для анализа модели, состоит из прямого цилиндра размерами: $L = 0,9$ м и $d = 25$ мм. Вычислительная область была разбита на ячейки прямоугольной формы. Количество итераций составляло 100. Также были заданы граничные условия и выполнен расчет моделей. Были рассчитаны физические величины (1)–(7), использующиеся для ввода в расчетную модель, а полученные

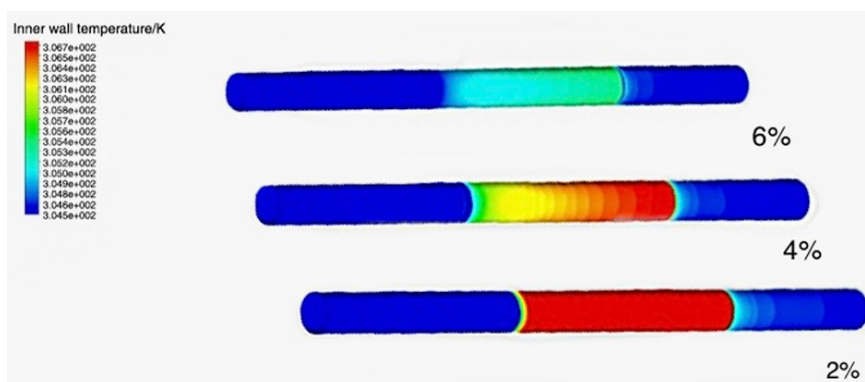


Рис. 1. Распределение температур поверхности трубы с различными концентрациями наножидкости в ней: 1 — концентрация наножидкости 6 %; 2 — концентрация наножидкости 4 %; 3 — концентрация наножидкости 2 %

значения сведены в таблицу (табл. 1). Таким образом, были рассчитаны следующие показатели: теплоемкость, плотность, вязкость, теплопроводность.

Коэффициент теплоемкости рассчитывается по формуле:

$$C_p = [(1 - \varphi) \rho_f C_{pf} + \varphi \rho_p C_{pp}] \rho^{-1}. \quad (1)$$

Плотность вещества рассчитывается по формуле:

$$\rho = (1 - \varphi) \rho_f + \varphi \rho_p. \quad (2)$$

Коэффициент теплопроводности рассчитывается по формуле:

$$\frac{\lambda}{\lambda_f} = \frac{\lambda_p + 2\lambda_f + 2\phi(\lambda_p - \lambda_f)}{\lambda_p + 2\lambda_f + \phi(\lambda_p - \lambda_f)}. \quad (3)$$

Вязкость вещества рассчитывается по формуле:

$$\frac{\mu_n}{\mu_b} = 1 + \frac{5}{2} \varphi. \quad (4)$$

Число Прандтля рассчитывается по формуле:

$$Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}. \quad (5)$$

Число Рейнольдса рассчитывается по формуле:

$$Re = \frac{\rho U L}{\mu}. \quad (6)$$

Число Нуссельта рассчитывается по формуле:

$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}. \quad (7)$$

Таблица 1. Теплофизические свойства исследуемых веществ

Вещество	Показатель			
	C (Дж/кг*К)	ρ (кг/м ³)	λ (Вт/м*К)	μ (м ² /с)
Вода	4174	996,2	0,618	801,5 (10 ⁻⁶)
Al ₂ O ₃	775	3970	40	
Наножидкость с концентрацией 2 %	3918	1055	0,654	841,5
Наножидкость с концентрацией 4 %	3691,1	1114,8	0,691	881,65
Наножидкость с концентрацией 6 %	3482,1	1175,2	0,73	921,7
	Pr	Re	Nu	α (Вт/м ² *К)
Наножидкость с концентрацией 2 %	5,53	1128,12	8,49	6,1
Наножидкость с концентрацией 4 %	5,626	1138,84	8,56	6,57
Наножидкость с концентрацией 6 %	5,75	1148,4	8,65	7,01
Вода	5,41	1118,62	8,4	5,7

Результаты. На рис. 1 представлены графические результаты моделирования. Увеличение температуры стенки трубы наблюдается по мере снижения концентрации наножидкости, что говорит о снижении коэффициента теплоотдачи. Наблюдаемое повышение числа Прандтля с ростом концентрации частиц связано с тем, что с ее увеличением коэффициент вязкости наножидкости возрастает значительно быстрее, чем коэффициент теплопроводности. Особенно значительный рост коэффициента теплопроводности наножидкостей наблюдается при использовании металлических частиц. При небольших концентрациях наночастиц коэффициент теплоотдачи растет пропорционально концентрации частиц, но одновременно он в общем случае зависит от их размера, а также вязкости наножидкости.

Выводы. Проведено исследование теплофизических свойств наножидкости, применяемой в качестве теплоносителя, в программном комплексе Ansys. Произведен сравнительный анализ эффективности

теплоотдачи наножидкости и базовой жидкости на основе определения коэффициента теплоотдачи в зависимости от концентрации наночастиц. Представлены графические результаты моделирования, показывающие изменение температуры поверхности используемой геометрической модели. Используя данный вид рабочего тела возможно интенсифицировать процессы теплообмена в различных технологических процессах.

Ключевые слова: ANSYS Steady State; наножидкость; теплообмен; теплофизические свойства; коэффициент теплоотдачи.

Сведения об авторе:

Анна Владимировна Швынденкова — студентка, группа 2, факультет теплоэнергетический; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: anna.shvindenkova@gmail.com