

Теплофизические свойства наножидкостей с обычными частицами и углеродными трубками¹

Рудяк В.Я.^{1,2}, Третьяков Д.С.²

¹Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Наножидкости, то есть двухфазная среда, состоящая из несущего флюида и наночастиц, активно изучаются два последних десятилетия. Такой интерес связан, с одной стороны, как с существующими, так и с возможными в будущем их применениями, а с другой, с необычными свойствами [1]. Действительно, оказалось, что теплофизические свойства наножидкостей не описываются классическими теориями (Эйнштейна, Максвелла и т.п.) [2, 3]. Тем не менее, все еще встречаются противоречивые экспериментальные данные, и, как правило, отсутствует понимание механизмов процессов переноса в наножидкостях. Ситуация осложняется и тем, что многообразие наножидкостей огромно. Это многообразие обусловлено, как разнообразием используемых базовых жидкостей, так и наночастиц. Следует иметь в виду, что помимо обычных сферических наночастиц широко используются и углеродные нанотрубки (УНТ). УНТ обладают исключительными электрическими, механическими и термическими свойствами [4]. Сложность изучения таких наножидкостей состоит в том, что в зависимости от технологии получения УНТ они могут быть одностенными, двухстенными и многостенными, и иметь поэтому существенно разные свойства. Кроме того, при создании наножидкостей, чтобы уменьшить возможное агрегирование частиц обычно используются различного типа поверхностно активные вещества (ПАВ) и ультразвуковая обработка. Поэтому при изучении теплофизических свойств наножидкостей следует аккуратно отслеживать влияние всех указанных обстоятельств.

Цель данной работы состоит в систематическом обсуждении особенностей теплофизических свойств наножидкостей как с обычными сферическими частицами, так и с УНТ. Рассматривается несколько десятков наножидкостей на основе воды, этиленгликоля, машинного масла с металлическим и оксидными наночастицами (SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ,

Fe_3O_4 , CuO , Al , Cu , W) различного размера и с одностенными нанотрубками. Использовались УНТ, произведенные компанией OCSiAl, Новосибирск. Объемные концентрации частиц варьировались в широких пределах (до 10% по объему), а температуры изменялись от 5 до 50°C.

Экспериментально исследована вязкость и реология наножидкостей, их теплопроводность и электропроводность. Изучена также диффузия УНТ в жидкости. Показано, что теплофизические свойства наножидкостей с обычными частицами существенно зависят не только от концентрации частиц, но также от их размера и материала. Причем вязкость и электропроводность наножидкостей растет с уменьшением размера частиц, а теплопроводность напротив падает.

С увеличением концентрации частиц наножидкости могут менять свою реологию (если базовая жидкость была ньютоновской). Установлено, что в этом случае реология хорошо описывается моделями псевдопластической или вязкопластической жидкости. Наконец показано, что при заданной концентрации частиц реология наножидкости станет неньютоновской тем скорее, чем меньше размер частиц. Показано, что на реологию наножидкостей с УНТ существенно влияет температура, причем с увеличением температуры растет параметр консистентности.

С целью изучить механизмы процессов переноса в наножидкостях систематически использовались данные моделирования с помощью метода молекулярной динамики.

Список литературы:

- [1] Рудяк В.Я., Минаков А.В. Современные проблемы микро- и нанофлюидики. Новосибирск: Наука, 2016. 298 с.
- [2] Rudyak V.Ya., Minakov A.V. Thermophysical properties of nanofluids // *European Phys. J. E.* 2018. Vol. 41. P. 15(12 p).
- [3] Rudyak V.Ya. Thermophysical characteristics of nanofluids and transport processes mechanisms // *J. Nanofluids* 2019. Vol. 8. P. 1–16.
- [4] Saeed K., Ibrahim K. Carbon nanotubes—properties and applications: a review // *Carbon Letters*. 2013. Vol. 14, No. 3. P. 131–144.

¹ Работа частично финансируется Российским фондом фундаментальных исследований, гранты № 19-01-00399, № 20-01-00041.