

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА С ПОМОЩЬЮ НАНОСУСПЕНЗИЙ В РЕАЛЬНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

В связи с миниатюризацией устройств происходит рост плотности тепловых потоков вследствие чего обычные теплоносители оказываются мало эффективны. Использование наножидкостей без существенных затрат на модернизацию позволит на десятки процентов повысить эффективность работы уже существующего теплотехнического оборудования. Термин «наножидкость» был впервые предложен в работе [1] для обозначения двухфазной системы, состоящей из несущей жидкости и наночастиц высокотеплопроводного материала. Типичными несущими жидкостями являются вода, органические жидкости (этиленгликоль, масло), полимерные растворы. Материалом для наночастиц служат металлы, оксиды металлов, углеродные нанотрубки. Многочисленные исследования показали, что наножидкости обладают рядом особых свойств [2]. Теплопроводность наножидкостей значительно превышает теплопроводность несущей жидкости. В отличие от крупных дисперсных частиц, наночастицы слабо седиментируют и не подвергают эрозии каналы, по которым движутся. В связи с этим наножидкости пытаются использовать для охлаждения различных устройств, при создании новых систем транспортировки и производства тепловой энергии, в микроэлектромеханических системах (МЭМС), при создании смазочных материалов, в системах очистки воздуха и воды и др. [2, 3]. В ряде случаев это позволяет существенно повысить интенсивность теплоотдачи при охлаждении различных устройств.

Одним из интенсивно развивающихся направлений в области наножидкостей является исследование процессов теплообмена в условиях вынужденной конвекции (ламинарные и турбулентные течения наножидкостей через каналы различного диаметра, тепловые трубки, микротеплообменники и др.) [4]. Большинство работ показывает увеличение теплоотдачи при использовании наночастиц [1-6].

В данном проекте исследовалась интенсификация теплообмена в рекуперативных теплообменниках при помощи использования наносuspензий в качестве рабочих жидкостей. Исследования, проводимые нашим коллективом, в течение ряда лет, показали, что добавление в жидкости наночастиц позволяет значительно интенсифицировать вынужденную конвекцию в круглых каналах при ламинарном и турбулентном режимах течения. Эксперименты проведены для рекуперативных теплообменных аппаратов (пластинчатых и кожухотрубных теплообменников). Данные виды теплообменных аппаратов в настоящее время широко используются в различных отраслях промышленности.

Показано, что коэффициент теплоотдачи наножидкости в ламинарном режиме возрастает при увеличении концентрации частиц. Исследование зависимости коэффициента теплоотдачи от размера наночастиц показало, что в ламинарном режиме течения при фиксированном расходе коэффициент теплоотдачи всегда возрастает с увеличением размера частиц. В случае фиксированных значений числа Рейнольдса зависимость коэффициента теплоотдачи от размера наночастиц может иметь максимум.

Было показано влияние материала наночастиц на коэффициент теплоотдачи. Зависимость коэффициента теплоотдачи от материала наночастиц полностью обусловлена теплофизическими свойствами наножидкости. Прежде всего, вязкостью и теплопроводностью.

Интенсификация коэффициента теплоотдачи также зависит от свойств базовой жидкости,

наножидкость на основе жидкости с более низкой теплопроводностью имеет более высокий прирост коэффициента теплоотдачи.

Было показано, что интенсификация коэффициента теплоотдачи за счет использования наножидкостей является нетривиальной проблемой. Величина интенсификации теплоотдачи зависит от соотношения вязкости и теплопроводности наножидкости, а, следовательно, от материала частиц и их размера.

Говоря об эффективности использования наножидкости для охлаждения, мы всегда должны учитывать мощность, потребляемую насосом для прокачивания жидкости. С этой целью в этой работе систематически измерялась величина перепада давления в рабочем участке. Однако коэффициент сопротивления пропорционален коэффициенту вязкости, а вязкость наножидкостей значительно превышает вязкость базовой жидкости. Следовательно, гидравлическое сопротивление наножидкостей значительно выше, чем у базовой жидкости. Однако положительным аргументом с точки зрения использования наножидкостей в качестве рабочей жидкости в различных тепловых устройствах является то, что теплопроводность наножидкости (и, следовательно, коэффициент теплоотдачи) возрастает с увеличением размера частиц, тогда как коэффициент вязкости, напротив, падает с увеличением размера частиц. Поэтому с точки зрения затрат энергии на прокачивание теплоносителя всегда можно найти определенный оптимум.

Список литературы

1. Choi S.U.S. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles // *Developments and applications of non-newtonian flows*, ASME FED, 1995. V. 66, p. 3408–3416.
2. Kumar Das S., Choi S.U.S., Wenhua Y., Pradeep T. *Nanofluids: science and technology*. John Wiley & Sons, 2008.
3. Рудяк В.Я., Белкин А.А. Моделирование коэффициентов переноса наножидкостей. *Наносистемы: физика, химия, математика*, 2010. Т. 1 (1), с. 156–177.
4. Терехов В.И., Калинина С.В., Леманов В.В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы. Часть 2. Конвективный теплообмен // *Теплофизика и аэромеханика*. 2010. № 2. с. 173–188.
5. Pak B., Cho Y.I. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle // *Experimental heat transfer*, 1998. V. 11. p. 151–170.
6. D. Liu, L. Yu. Single-phase thermal transport of nanofluids in a minichannel // *Journal of heat transfer*. 2011. V. 133. 031009.