АННОТИРОВАННЫЙ ОТЧЕТ
по годовому этапу научно-исследовательской работы № 3100 в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по Заданию № 2014/71 за 2014 год

Тема: Исследование способов управления процессами тепломассообмена при помощи наножидкостей с целью создания высокоэффективных технологий использования тепловой энергии

Номер государственной регистрации: 114102050058

Руководитель: Минаков Андрей Викторович

Наименование годового этапа: Расчетно-экспериментальное исследование процессов тепломассообмена в турбулентных течениях наножидкостей.

Коды темы по ГРНТИ: 30.17.35 29.17.00 44.31.00

Приоритетное направление: Энергетика и энергосбережение

Критическая технология: Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии

Полученные научные и (или) научно технические результаты: 1. Проведено экспериментальное исследование турбулентного теплообмена наножидкостей в цилиндрическом канале в условиях постоянной плотности теплового потока на стенках. Число Рейнольдса варьировалось от 3000 до 10000. В качестве базовой жидкости использовалась дистиллированная вода. В качестве наночастиц порошки оксида алюминия и кремния. Диаметр наночастиц варьировался от 25 до 100нм. Объемная концентрация наночастиц варьировалась в диапазоне от 0 до 2 объемных процентов. В результате экспериментов измерены средние и локальные величины коэффициента теплоотдачи на стенках канала и величина перепада давления на входе и выходе из канала. 2. В результате работы было показано, что добавление наночастиц в теплоноситель оказывает существенное влияние на величину коэффициента теплоотдачи в турбулентном режиме течения. С увеличением концентрации наночастиц локальный и средний коэффициенты теплоотдачи при фиксированном значении числа Рейнольдса возрастают. Максимально зафиксированное в экспериментах увеличение коэффициента теплоотдачи по сравнению с чистой жидкостью составило около 25% (наножидкость на основе воды и 2-х процентной концентрации частиц оксида алюминия). 3. В отличии от ранее исследованного ламинарного режима течения, в котором добавление наночастиц однозначно приводит к росту коэффициента теплоотдачи, в турбулентном режиме течении были отмечены случаи его снижения. Это связано с тем, что в турбулентном режиме коэффициент теплоотдачи зависит не только от теплопроводности теплоносителя, но и от его вязкости. Если рост теплопроводности теплоносителя за счет наночастиц существенно меньше роста его вязкости, то может иметь место ухудшение теплообмена. Таким образом было показано ключевое влияние вязкости наножидкости на характеристики ее турбулентного теплообмена. 4. В экспериментах установлена сильная зависимость коэффициента теплоотдачи от материала наночастиц в турбулентном режиме течения. Так например, 2-х % концентрация наночастиц оксида алюминия увеличивает среднее значение коэффициента теплоотдачи на 25%, а оксида кремния (при прочих равных условиях) на 15% по сравнению с базовыми жидкостями. 5. Исследовано влияние диаметра наночастиц на коэффициент теплоотдачи и перепад давления в турбулентном режиме. Установлено, что с увеличением диаметра наночастиц коэффициент теплоотдачи в турбулентном режиме течения повышается, а величина перепада давления напротив снижается. Таким образом, существует оптимальный размер наночастиц, при котором эффективность применение наножидкостей в качестве теплоносителя будет максимальной. 6. Измерены величины перепада давления в канале при турбулентном течении наножидкостей. Показано, что добавление наночастиц в теплоноситель значительно увеличивает его вязкость, и как следствие, потери давления в каналах. Поэтому запланированная на 2015г. задача снижения турбулентного трения в наножидкостях является чрезвычайно актуальной. 7. Построена комплексная математическая модель турбулентного теплообмена наножидкостей. При этом для описания гидродинамики и теплообмена наножидкостей рассмотрены два

подхода. Первый подход основан на однокомпонентной модели в рамках которой наножидкость рассматривается как однородная среда со свойствами, пропорциональными концентрации частиц. Второй подход основан на двухкомпонентной модели теплообмена наножидкостей с учетом диффузии и термодиффузии наночастиц. Математическая модель турбулентного теплообмена построена основе RANS подхода. В качестве основных моделей турбулентности были рассмотрены наиболее распространенные модели: стандартные k-e и k-w модели, двухзонная модель Ментера SST. Основная трудность здесь состоит в описании поведения скорости, концентрации и температуры в пристеночной области. Тестирование методики моделирования турбулентного теплообмена наножидкостей показало, что наилучшие результаты удается добиться с использованием двухзонной модели Ментера SST. Данная модель хорошо описывает турбулентные характеристики течения и теплообмена, как в ламинарном подслое, так и логарифмической области и буферном слое. 8. Проведено тестирование разработанных математических моделей. Полученные данные сопоставлены с данными натурного эксперимента. В результате показано хорошее согласие результатов расчетов и экспериментальных данных, по величине локального и среднего коэффициента теплоотдачи и величине перепада давления для наножидкостей в турбулентном режиме. 9. С помощью созданной численной методики проведено исследование турбулентного теплообмена наножидкости вода - оксид кремния в круглом канале с постоянной плотностью теплового потока на стенках. Получены зависимости коэффициента теплоотдачи и перепада давлений от числа Рейнольдса и концентрации наночастиц. 10. По результатам полученных исследований сформулированы практические рекомендации по интенсификации турбулентного теплообмена наножидкостей.

Полученная научная и (или) научно-техническая продукция: Научно-технический отчет о результатах исследования турбулентного теплообмена наножидкостей. Результаты экспериментальных исследований. Расчетная методика моделирования турбулентного теплообмена наножидкостей. Практические рекомендации по интенсификации теплообмена в турбулентном режиме с помощью наножидкостей.

Ключевые слова и словосочетания, характеризующие результаты (продукцию):

наночастицы, наножидкость , интенсификация теплообмена, вынужденная конвекция, теплоотдача, теплопроводность, вязкость, турбулентность, RANS модели.

Наличие аналога для сопоставления результатов (продукции): Исследование наножидкостей является сегодня одним из самых быстро развивающихся направлений науки. Практически во всех ведущих университетах и исследовательских центрах США, Японии, Китая, Франции, Великобритании, Германии, Канады есть лаборатории, занимающиеся изучением свойств наножидкостей, а их производство в США, Японии и некоторых других странах стало промышленным. Полученные в проекте результаты, сложность рассматриваемых задач, постановка исследований, используемые расчетные и экспериментальные методики, применяемые наноматериалы полностью соответствуют современному мировому уровню в области изучения наножидкостей. В проекте детально исследованы все практически важные аспекты вынужденной конвекции наножидкостей, описанные в современных зарубежных публикациях. Результаты проведенных исследований в целом качественно и количественно коррелируют с результатами, полученными в лучших мировых лабораториях.

Преимущества полученных результатов (продукции) по сравнению с результатами аналогичных отечественных или зарубежных НИР:

а) по новизне: результаты являются новыми

б) по широте применения: в рамках организации или предприятия

в) в области получения новых знаний (для фундаментального научного исследования)

Степень готовности полученных результатов к практическому использованию (для прикладного научного исследования и экспериментальной разработки): выполнен прототип (установки, методики, системы, программы и т.д.)

Предполагаемое использование результатов и продукции: В рамках проекта было показано, что наножидкости на десятки процентов повышают значение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции, что открывает новые перспективы повышения эффективности теплообменных устройств. Применение наножидкостей без существенных

затрат на модернизацию позволит на десятки процентов повысить эффективность работы уже существующего теплотехнического оборудования в энергетике, ЖКХ и промышленности, что особенно актуально для регионов Сибири. Это позволит повысить КПД оборудования и снизить энергоемкость производства. Полученные в рамках проекта результаты могут быть использованы при разработке и промышленном производстве эффективных теплообменных устройств и создании новых систем транспортировки и производства тепловой энергии. Область применения результатов проекта: теплоэнергетика, ЖКХ, металлургия, атомная, нефтехимическая и тяжелая промышленность. Потенциальными потребителями и заказчиками научно-инновационной продукции могут являться: предприятия топл

Форма представления результатов: Результаты исследований опубликованы в 22 публикациях. Из них 6 в журналах из базы цитирования WOS, 7 из базы SCOPUS, 8 - в журналах из списка ВАК, 1 монографии, 2 учебно-методических пособиях, 9 тезисов и докладов российских и международных конференций. Подготовлена 1 магистерская диссертация.

Использование результатов в учебном процессе: использование в преподавании существующих дисциплин

Предполагаемое развитие исследований: В результате выполнения данного этапа стало очевидным, что вязкость наножидкостей играет ключевую роль турбулентном теплообмене. Поэтому запланирована задача снижения турбулентного трения в наножидкостях с помощью изменения реологии. В 2015 году планируется развить эти исследования в следующих направлениях: 1. Провести экспериментальное исследование влияния реологии на теплообмен в наножидкостях. Получить зависимости коэффициента теплоотдачи и перепада давления в канале от реологии флюида, концентрации наночастиц и используемых для создания реологии ПАВ, свойств базовой жидкости и ПАВ. 2. Построить комплексные математические модели, описывающие влияние реологии на теплообмен наножидкостей. Провести тестирование разработанных моделей. Полученные данные сопоставить с данными натурного эксперимента. 3. По результатам полученных исследований разработать практические рекомендации по интенсификации теплообмена наножидкостей с помощью управления их реологией.