

Резюме проекта
Выполняемого при поддержке **РФФИ**
**«Исследование физико-химических методов стабилизации теплофизических свойств
наножидкостей»**

по этапу «1» /за 2014год / *промежуточный*

Договор № РФФИ-141

Приоритетное направление: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ
НАУК

Критическая технология: Энерго- и ресурсосберегающие, экологически чистые химико-
технологические процессы

Период выполнения: 2014-2015 гг.

Ключевые слова: Наножидкость, теплофизические свойства, вязкость, теплопроводность,
поверхностно-активные вещества, диспергатор, ультразвуковой кавитатор, ультразвуковая
баня, шаровая мельница

1. Цель фундаментального исследования:

Интенсификация конвективного теплообмена и связанные с ней задачи экспериментального и теоретического исследований приобретают в настоящее время значение самостоятельной, важной и быстро развивающейся области учения о теплообмене. Во всех машинах, оборудовании и технологиях возникает потребность интенсивного отведения тепла, для чего используется различного рода теплообменное оборудование. Актуальность этой проблемы определяется стремлением к повышению интенсивности работы теплообменных устройств в сочетании с желанием сократить затраты энергии и добиться максимальной компактности при минимальной материалоемкости. Одним из путей решения проблемы интенсификации процесса теплообмена является создание малогабаритной теплообменной аппаратуры большой единичной мощности с интенсифицированными тепловыми элементами, глобальная реконструкция и модернизация существующего парка теплообменного оборудования. Однако на сегодня резервы реальной рационализации конструкций теплообменников считаются практически исчерпанными. Параллельно с миниатюризацией теплообменных и других энергетических устройств и элементов, чрезвычайно быстро развиваются и исследования, связанные с одновременным использованием в таких устройствах жидкостей с примесью микронных и субмикронных частиц различного состава, получивших название «наножидкости». Способ повышения производительности теплообменных аппаратов основанный на увеличении теплопроводности жидкости путем добавления частиц металлов миллиметровых и субмиллиметровых размеров известен уже более ста лет. Однако в практических приложениях такие жидкости не используются из-за отрицательных факторов, таких как седиментация, эрозия, загрязнение, потери давления. Исследования, проведенные в последнее десятилетие в США, Японии, Южной Кореи, Китае, Австралии и некоторых других странах показали, что эффективность подобных устройств оказывается несопоставимой с устройствами, где используются обычные теплоносители. Исследования, проводимые сотрудниками кафедры Теплофизики СФУ, обнаружили новые полезные свойства таких жидкостей. Так, в частности, было показано, что наножидкости на основе частиц алмаза имеют коэффициент теплопроводности на 50-70% выше, чем у тех жидкостей, из которых они приготовлены; в 1,5 раза повышают

величину критического теплового потока при кипении; не увеличивают потери давления в каналах, что открывает новые перспективы повышения эффективности теплообменных устройств. Но, несмотря на большое число работ в области наножидкостей, многие проблемы остаются открытыми или малоизученными, а полученные результаты зачастую носят противоречивый характер. Сюда относятся вопросы о механизмах теплопроводности наножидкостей, их теплофизических свойствах, о теплообмене в условиях естественной и вынужденной конвекции, кипении и др., что говорит о том, что изучение наножидкостей представляет большой интерес и фундаментальной точки зрения. Одним из наиболее важных вопросов, требующих первоочередного решения, является проблема стабилизации теплофизических свойств наножидкости различными физико-химическими методами. Исследования, проводимые нашим коллективом показали, что добавление в жидкости взвешенных твердых наночастиц позволяет значительно интенсифицировать тепломассообмен в различных приложениях. Однако, при проведении исследований было обнаружено, что такие наножидкости нельзя считать стабильными. Наночастицы достаточно быстро (от суток до недель) седиментируют, что впоследствии приводит к существенному ухудшению теплофизических свойств наножидкостей и серьезному засорению каналов. Таким образом, становится очевидным, что дальнейшее изучение полезных свойств наножидкостей и создание технологии их применения для интенсификации тепломассообмена бессмысленно без разработки эффективных физико-химических методов стабилизации свойств наножидкостей. На решение этой проблемы и направлен данный проект.

2. Основные результаты проекта:

На первом этапе данного проекта был проведен аналитический обзор литературы в следующих направлениях:

а) экспериментальные результаты в области механических методов стабилизации наножидкостей (высокоскоростные мешалки, шаровые мельницы и т.п.). Проведённый обзор показал, что механические методы стабилизации наножидкости малоэффективны, требуют больших временных (порядка 50 часов) и, соответственно, энергетических затрат. К тому же, при использовании шаровых мельниц небольшая доля материала, из которого состоят измельчающие шары, несмотря на их высокую плотность и прочность, попадает в нанопорошок или наножидкость в виде примесей, что существенно снижает их эффективность.

б) экспериментальные результаты в области физических методов стабилизации наножидкостей (различные ультразвуковые ванны, кавитаторы, диспергаторы и т.п.). Было показано, что ультразвуковая обработка – надёжный и достаточно эффективный метод стабилизации наножидкостей. На основе литературного обзора принято решение использовать сонификатор стержневого типа и ультразвуковую ванну.

в) экспериментальные данные по химическим методам стабилизации наножидкостей (влияние присутствия различных поверхностно-активных веществ). Было показано, что добавление ПАВ и изменение рН раствора также является эффективным методом стабилизации наножидкостей. На основе обзора выбрано несколько видов ПАВ.

г) теоретические модели для описания стабилизации теплофизических свойств наножидкостей. На основе теоретической модели движения частицы в вязкой среде, известной как закон Стокса было показано, что стабильность наножидкостей напрямую зависит от диаметра агломератов диспергированных в базовой жидкости наночастиц,

причём, чем меньше диаметр этих агломератов, тем более стабильной является полученная наножидкость. Скорости оседания мелких сферических частиц зависят от радиуса частицы, плотностей частицы и базовой жидкости и вязкости базовой жидкости. Основной причиной осаждения является сила тяжести. Три силы действуют на взвешенную частицу, а именно архимедова сила, сила трения и массовая сила. Силы Архимеда и трения направлены вверх и противодействуют массовой силе, направленной вниз в результате гравитационного притяжения.

На втором этапе были проведены экспериментальные исследования механических методов стабилизации наножидкостей, подтвердившие их малую эффективность. Проведённое сравнение таких теплофизических свойств наножидкостей, как теплопроводность, вязкость, а также скорость осаждения частиц показало, что, несмотря на длительную механическую обработку наножидкостей и нанопорошков с помощью шаровых мельниц, данные свойства практически не изменялись, что говорит о неэффективности данного метода стабилизации наножидкостей. Поэтому было принято решение далее не рассматривать этот метод, как эффективный и перейти к рассмотрению следующего метода стабилизации наножидкостей.

На третьем этапе проведено экспериментальное изучение физических методов стабилизации наножидкостей с использованием ультразвуковой ванны и ультразвукового диспергатора стержневого типа УЗДН-А. Наножидкости были приготовлены из ультрадисперсных алмазов (размер частиц 4нм), из нанопорошков оксида алюминия (размер частиц 40нм и 50нм), оксида меди (размер частиц 60нм и 100нм), оксида титана (70 нм и 110 нм), окиси железа (размер частиц 50 нм и 100нм), и диоксида кремния (размер частиц 5нм, 25нм, 40нм и 110нм). В качестве базовой жидкости использовалась дистиллированная вода и этиленгликоль. Объемная концентрация частиц в жидкости варьировалась в диапазоне от 0,05 до 2%. В результате экспериментов были определены зависимости эффективности физических методов воздействия на стабильность свойств получаемой наножидкости, а именно на скорость осаждения, коэффициенты теплопроводности и вязкости. Данные свойства были измерены сразу после приготовления наножидкости, через 6 часов, через сутки и неделю после ее приготовления. Было проведено сравнение данных свойств с наножидкостью, не подвергавшейся ультразвуковой обработке и показано значительное повышение стабильности. Также было показано наличие зависимости стабильности свойств наножидкости от объёмной концентрации наночастиц, что подтверждает гипотезу о зависимости скорости осаждения частиц, а, соответственно, и стабильности наножидкостей от диаметра агломератов наночастиц в наножидкости. Кроме того в экспериментах было изучено влияние времени ультразвукового воздействия и показано, что существует некоторое предельное значение, после которого продолжать данное воздействие нецелесообразно вследствие разрушения всех возможных агломератов. В заключение было проведено мощности генератора ультразвуковых волн на примере двух различных диспергаторов и показано, что с увеличением мощности генератора ультразвукового излучения уменьшается время, необходимое на разрушение агломератов наночастиц и получения стабильной наножидкости.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках фундаментального, прикладного научного исследования, экспериментальные разработки – Нет

4. Назначение и область применения результатов проекта

Предполагаемые результаты проекта имеют как фундаментальное, так и прикладное значение. С точки зрения фундаментальной науки, изучение стабилизации теплофизических свойств наножидкостей позволит глубже понять механизмы взаимодействия наночастиц с базовой жидкостью, создать стабильную наножидкость, сохраняющую свои теплофизические свойства в течение долгого времени. Это, в свою очередь, даст возможность получить более точные значения теплофизических параметров наножидкости, знание которых позволит получить более ясные представления о механизмах передачи тепла и фундаментальных законах взаимодействия в таких системах. В рамках проекта будут разработаны практические рекомендации по созданию стабильных наножидкостей, ведь применение только таких наножидкостей возможно при разработке и промышленном производстве эффективных теплообменных устройств и создании новых систем транспортировки и производства тепловой энергии и их использовании в теплоэнергетике, ЖКХ, металлургии, атомной, нефтехимической и тяжелой промышленности.

Необходимо отметить, что реализация данного проекта будет способствовать повышению качества возрастной и квалификационной структуры кадрового потенциала сферы образования и науки, увеличению доли публикаций Российских ученых в ведущих научных журналах мира, повышению качества этих публикаций, а также преодолению негативной тенденции увеличения среднего возраста исследователей.

Результаты исследовательской работы предполагается использовать при разработке новых и модификации существующих научно-образовательных курсов для студентов Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета (СФУ). Ожидается, что исследования в рамках проекта приведут к постановке новых задач в области гидродинамики и теплообмена наножидкостей. Эти результаты будут использоваться при подготовке курсовых и дипломных работ студентов.

5. Возможность коммерциализации результатов проекта

Разработанные практические рекомендации по созданию стабильных наножидкостей и их применению при разработке и промышленном производстве эффективных теплообменных устройств и создании новых систем транспортировки и производства тепловой энергии и их использовании в теплоэнергетике, ЖКХ, металлургии, атомной, нефтехимической и тяжелой промышленности показывают наличие возможности коммерциализации результатов проекта в течение пяти лет после завершения данного проекта.

6. Эффекты от внедрения результатов проекта

В исследованиях, проводимых сотрудниками кафедры Теплофизики СФУ в рамках данного проекта было обнаружены новые полезные свойства таких жидкостей. Так, в частности, было показано, что наножидкости на основе частиц алмаза имеют коэффициент теплопроводности на 50-70% выше, чем у тех жидкостей, из которых они приготовлены; в 1,5 раза повышают величину критического теплового потока при кипении; не увеличивают потери давления в каналах, что открывает новые перспективы повышения эффективности теплообменных устройств.

7. Наличие соисполнителей

Гузей Дмитрий Викторович, аспирант ИИФиРЭ СФУ

Жигарев Владимир Алексеевич, аспирант ИИФиРЭ СФУ

Козлов Петр Викторович, магистрант ИИФиРЭ СФУ

Минаков Андрей Викторович, доцент кафедры Теплофизика ИИФиРЭ СФУ

Руководитель работ по проекту

Ассистент, Лобасов Александр Сергеевич