

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института теплофизики
им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
чл.-корр. РАН

С.В. Алексеенко

«25» февраля 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Рютина Сергея Борисовича «Исследование теплопереноса в перспективных теплоносителях при мощном тепловом воздействии», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

1. Актуальность темы исследования.

С целью интенсификации процессов теплообмена в различных энергетических устройствах постоянно идет поиск новых перспективных теплоносителей и всестороннее исследование их свойств. Уникальные свойства нанофлюидов (НФ) и сверхкритических флюидов (СКФ) привлекают к ним широкое внимание исследователей и позволяют их рассматривать в качестве перспективных теплоносителей. Однако в настоящее время в литературе имеется ограниченная информация, а порой и противоречивая, о свойствах и особенностях протекания теплообменных процессов в НФ и СКФ. На это имеются объективные причины, связанные, с одной стороны, с комплексным и многофакторным характером теплообменных процессов в таких средах, а с другой стороны – со сложностью проведения экспериментальных исследований в них. Поэтому, экспериментальные исследования теплообмена в НФ и СКВ при различных режимах являются актуальными как для построения физических моделей

процессов, так и для практического использования этих сред в различном теплообменном оборудовании.

Диссертационная работа Рютина Сергея Борисовича является новым важным шагом в исследовании процессов теплопереноса в НФ и СКФ при мощных тепловых воздействиях.

2. Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка основных обозначений и сокращений, списка литературы. Диссертация изложена на 118 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков, 2 таблицы, 88 наименований источников литературы.

Во введении сформулированы актуальность работы, предмет, цели и задачи исследования, положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор результатов экспериментальных исследований теплообмена в НФ и СКФ. Обзор работ по НФ показал, что при проведении экспериментов возникают большие сложности, связанные с седиментационной неустойчивостью системы и процессами взаимодействия частиц друг с другом, а также с поверхностями измерительных зондов, что может влиять на результаты измерений. Отмечена противоречивость результатов ряда работ и отсутствие физического объяснения наблюдаемых эффектов, например, влияния размеров наночастиц на теплопроводность НФ. При обзоре работ по СКФ обращено внимание, что основные результаты получены в квазистационарном режиме теплообмена, не исследованы режимы с малыми временами воздействия и большими плотностями тепловых потоков. Критический обзор экспериментальных методов изучения теплообменных процессов в НФ и СКФ позволил диссертанту сформулировать требования к экспериментальному методу исследования, который он в успешно осуществил в своей работе.

Во второй главе детально описан экспериментальный метод, разработанный диссертантом для исследования теплообмена в НФ и СКФ. Метод заключается в управлении мощностью нагревателя, в качестве которого применяется платиновая проволочка, нагреваемая электрическим током. Подробно описана электрическая схема измерительного устройства. Обсуждены методические детали проведения измерений. Большое внимание в работе уделено анализу погрешностей измерений, с целью их снижения выбран относительный метод измерения. Оригинальность разработанного измерительного устройства подтверждено получением патента на полезную модель.

В третьей главе приведены результаты экспериментов с НФ и представлено их обсуждение. Исследовалось влияние концентрации наночастиц Al_2O_3 , CuO , Ti_2O , YSZ в изопропанол, этиленгликоле, воде на относительное термическое сопротивление слоя суспензии. Обнаружено явление модификации поверхности зонда наночастицами. Опыты при атмосферном давлении позволили обнаружить, что относительное термическое сопротивление суспензий с частицами Al_2O_3 монотонно росло с увеличением концентрации наночастиц. Для суспензий с частицами Ti_2O и YSZ наблюдалась более сложная картина. Так, в области малого

содержания наночастиц с ростом их концентрации происходило снижение относительного теплового сопротивления, а при дальнейшем увеличении концентрации частиц наблюдался рост теплового сопротивления.

В четвертой главе представлены и обсуждены результаты экспериментов со сверхкритическими флюидами. Объектами изучения были изопропанол, малоноводистый эфир, ацетон и вода. В экспериментах было обнаружено, что при переходе жидкости при давлениях больше критического в область сверхкритических температур по изобаре для всех исследованных жидкостей наблюдалось пороговое снижение интенсивности теплообмена. Эффект выражен тем сильнее, чем ближе значение давления к критическому давлению. При давлениях, превышающих критическое значение в 3 и более раз, особенностей при переходе через критическую температуру не наблюдалось.

3. Основные научные результаты диссертации.

Оценивая диссертационную работу в целом, можно отметить следующие основные результаты, представляющие научный и практический интерес:

1. Разработан метод управляемого импульсного нагрева зонда и создана экспериментальная установка, позволяющая проводить эксперименты по исследованию теплообмена в жидких средах при мощных импульсных тепловых воздействиях.

2. Проведены экспериментальные исследования нестационарного теплообмена в нанофлюидах. Показано, что в зависимости от природы наночастиц и базовой жидкости возможна реализация различного характера изменения относительного теплового сопротивления с увеличением концентрации частиц.

3. Обнаружено явление взаимодействия наночастиц с нагретой поверхностью, что может приводить к наноструктурированию поверхности и оказывать влияние на ее теплообмен с теплоносителем. Данное явление в дальнейшем можно использовать в различных технических приложениях.

4. В экспериментах при нестационарном теплообмене в сверхкритических флюидах, обнаружен эффект порогового снижения интенсивности теплообмена при переходе жидкости с давлением больше критического в область сверхкритических температур по изобаре. На фундаментальный характер обнаруженного эффекта указывает отсутствие влияния на результаты опытов известного из стационарных измерений пика изобарной теплоемкости. Считаем актуальным комплексное развитие исследования обнаруженного эффекта, поскольку его результаты могут повлиять на выбор рабочих параметров сверхкритических теплоносителей в энергетике.

4. Степень новизны результатов, сформулированных в диссертации.

Научная новизна заключается в разработке нового экспериментального метода исследования теплообмена в жидких флюидах при мощном локальном тепловыделении. Применение разработанного метода позволило существенно расширить диапазон температур в опыте и концентраций наночастиц при исследовании теплообмена наножидкостей по сравнению с ранее проведенными работами. Для ряда нанофлюидов обнаружено аномальное поведение тепловых

сопротивлений при небольших концентрациях частиц. Впервые в экспериментах осуществлен быстрый перевод жидкостей при давлениях выше критического значения в область сверхкритических температур по изобаре и описаны характерные особенности теплопереноса, сопровождающие этот перевод.

5. Степень обоснованности и достоверности результатов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается: осуществлением проверки разработанной методики измерений на различных объектах, признанием развитой методики измерений в качестве Государственного стандарта, применением для оценки погрешностей измерения электрических величин приборов, внесенных в Государственный реестр средств измерения, широкое обсуждение полученных результатов на научных конференциях и семинарах.

6. Публикации и апробация результатов работы.

Основное содержание диссертации представлено в 12 печатных работах, из них: методика ГСССД, патент на полезную модель, 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней.

Результаты работы были доложены на многочисленных международных и российских конференциях и форумах в течение 2009 - 2014 гг. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

7. Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы Рютина С.Б. заключается в получении новых знаний о закономерностях теплопереноса в нанофлюидах и сверхкритических флюидах в условиях мощного локального тепловыделения.

В экспериментах с нанофлюидами разработанная методика исследований позволила диссертанту получить новые результаты по нестационарному теплообмену в широком диапазоне температур в опыте и концентраций наночастиц. Полученные результаты важны для оценки перспектив практического использования НФ в качестве теплоносителей в энергетическом оборудовании.

Высокая чувствительность и быстрдействие предложенного в работе метода делают возможным его широкое практическое применение для сопоставления свойств различных теплоносителей в условиях мощного теплового воздействия.

8. Рекомендации по использованию результатов работы.

Разработанную методику экспериментального исследования теплообмена в различных жидких средах при мощном тепловом воздействии рекомендуется использовать в научно-исследовательских институтах теплофизического профиля: ИВТАН (Москва), ИТ СО РАН (Новосибирск), ИТФ УрО РАН (Екатеринбург), ФТИ УрО РАН (Ижевск) и др.

Результаты работы представляют интерес и могут быть использованы в организациях, занимающихся разработкой и применением перспективных теплоносителей для тепловых и атомных станций: Физико-энергетическом

институте им. А.И. Лейпунского, Научно-исследовательском институте им. Доллежала, ОКБ Гидропресс (г. Подольск) и др.

Рекомендуется использовать в учреждениях высшего образования физического и энергетического профиля: Московском энергетическом институте (Техническом университете), Московском инженерно-физическом университете, Новосибирском государственном техническом университете, Новосибирском государственном университете, Национальном исследовательском Томском политехническом университете, Уральском федеральном университете.

9. Замечания по содержанию и оформлению диссертации.

Несмотря на достаточно высокий уровень работы, по диссертации можно сделать следующие замечания.

1. В работе исследуется теплообмен нагреваемого зонда с нанофлюидами и сверхкритическими флюидами в существенно нестационарных условиях при больших плотностях теплового потока и малых временах теплового воздействия. При проведении исследований обнаружено, что протекание тепловых процессов может существенно отличаться от того, что наблюдается в этих средах при квазистационарных процессах. Поэтому целесообразно было бы указать диапазон параметров нестационарности, при которых теплообмен в изучаемых жидких средах подчиняется описанным в диссертации закономерностям.

2. Диссертант в названии диссертации и в ее тексте указывает, что практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов при выборе новых перспективных теплоносителей. В то же время, в работе рассматриваются тепловые процессы, протекающие в условиях мощного локального тепловыделения. Следовало бы в работе привести характерные времена нестационарных тепловых процессов, с которыми реально работают теплоносители, например, на тепловых и атомных станциях, и сопоставить их с временами тепловых процессов, рассмотренными в диссертации.

3. Работа носит экспериментальный характер. Однако в ней не уделено достаточного внимания сопоставлению полученных результатов с данными других экспериментальных или расчетных работ. Несмотря на то, что эксперименты, представленные в диссертации, являются уникальными, диссертанту желательно было бы проработать вопросы проведения некоторых сопоставлений с результатами других работ для верификации выбранных методик исследования.

4. Имеется ряд замечаний по использованию в тексте диссертации оборотов, которые лучше заменить на более корректные для технического текста обороты:

стр 5. “ размерный эффект тепловой проводимости” - следовало: влияние размера частиц на теплообмен;

стр. 29 “ Чтобы не увязнуть в деталях” - следовало: можно выделить основные результаты, относящиеся к рассматриваемым вопросам;

“ Должен быть принят более последовательный экспериментальный подход” - следовало: необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

10. Заключение.

Несмотря на сделанные замечания, следует отметить, что диссертационная работа Рютина Сергея Борисовича «Исследование теплопереноса в перспективных теплоносителях при мощном тепловом воздействии», представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для разработки и исследования характеристик перспективных теплоносителей, предназначенных для работы в условиях мощного локального тепловыделения.

Диссертационная работа была рассмотрена на объединенном семинаре отделов термогазодинамики и термодинамики веществ и излучений Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и получила высокую оценку (протокол заседания семинара № 93 от 29.12.2014 г.).

Диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а её автор Рютин Сергей Борисович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заведующий отделом термогазодинамики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Сибирского отделения
Российской академии наук (ИТ СО РАН) –
доктор технических наук, профессор /Терехов Виктор Иванович/
(01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника)
(контактный телефон: 8(383)330-67-36,
электронная почта: terekhov@itp.nsc.ru)

Заведующий лабораторией проблем энергосбережения
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Сибирского отделения
Российской академии наук (ИТ СО РАН)
доктор технических наук /Низовцев Михаил Иванович/
(01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника)
(контактный телефон: 8(383)316-53-36,
электронная почта: nizovtsev@itp.nsc.ru)



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Сибирского отделения
Российской академии наук (ИТ СО РАН)
Россия, 630090, г.Новосибирск, проспект Лаврентьева, 1
(контактный телефон: 8(383)330-70-50,
электронная почта: alex@itp.nsc.ru)