**Создание научно-технического задела и экспериментальных образцов высокоэффективных двухфазных систем охлаждения с естественной циркуляцией для космических и транспортных приложений**

Соглашение **№ 14.616.21.0016** в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы»

**Приоритетное направление**: «Транспортные и космические системы»

**Период выполнения:** 26.09.2014- 31.12.2016

**Исполнитель:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

**Иностранный партнер:** Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels, Université Aix-Marseille, CNRS, Marseille, France

**Цели выполнения прикладных научных исследований**

Создание научно-технического задела, разработка и создание экспериментальных образцов высокоэффективных двухфазных систем охлаждения с естественной циркуляцией для космических и транспортных приложений. Развитие сотрудничества с иностранным партнером.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26.09.2014г. **№ 14.616.21.0016** с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 3 в период с 01.07.2015 г. по 31.12.2015 г. выполнялись следующие работы:

1. Выполнено экспериментальное исследование конденсации пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберных впадин.

2. Проведено сопоставление расчетных и опытных данных.

3. Проведено обобщение и оценка полученных результатов.

4. По результатам выполненных исследований подготовлена заявка на патент нового конденсатора  пара  для контурной тепловой трубы

5. Проведено экспериментальное исследование динамики, тепломассообмена в испаряющемся мениске.

6. Разработана теоретическая модель и проведены численные расчеты неравновесного процесса испарения с использованием кинетической теории.

7. Проведено сопоставление расчетных и опытных данных. Проведено обобщение и оценка полученных результатов.

8. Принято участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов.

9. Выполнено теоретическое и численное моделирование неравновесных процессов с фазовыми превращениями в микросистемах в части сравнения решений континуальной задачи с результатами расчетов по кинетическим уравнениям (выполнено иностранным партнером).

При этом были получены следующие результаты:

Проведено экспериментальное исследование конденсации пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберных впадин. Выполнены эксперименты по конденсации пара FC72 на криволинейном ребре. Исследовался теплообмен при различных режимных параметрах эксперимента.

Сопоставлены расчетные и опытные данные. Показано, что при увеличении температурного напора коэффициент теплоотдачи уменьшается. Это происходит вследствие того, что при увеличении температурного напора увеличивается количество сконденсированной жидкости и, соответственно, толщина пленки конденсата. Рост толщины пленки конденсата увеличивает термическое сопротивление и снижает коэффициент теплоотдачи. Полученные значения коэффициента теплоотдачи находятся в диапазоне значений от 900-1250 Вт/м2К. Рассчитанные по разработанной математической модели значения коэффициента теплоотдачи хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований.

Проведено обобщение и оценка полученных результатов. Разработанная и созданная в ходе выполнения проекта установка –конденсатор с продольным оребрением и отсосом конденсата из межреберных впадин – в выполненных тестах и экспериментах доказала свою работоспособность.

По результатам выполненных исследований подготовлена и подана заявки на патент нового конденсатора пара для контурной тепловой трубы. Уведомление о поступлении заявки № 2015156045 от 28.12.2015 г. представлено в составе отчетной документации. Название изобретения «Эффективный конденсатор пара для условий микрогравитации».

Проведено экспериментальное исследование динамики, тепломассообмена в испаряющемся мениске. Применено два высокоточных оптических метода: теневой с использованием DSA100 с высокоскоростной камерой и метод с использованием микроскопа, обеспечивающий высокое разрешение.

Разработана теоретическая модель и проведены численные расчеты неравновесного процесса испарения с использованием кинетической теории. Модель предполагает полные уравнения Навье-Стокса и переноса энергии с использованием граничных условий для скачка температуры и давления, полученные из кинетической теории. Распределения температур, скорости и плотности, вычисленные с помощью полных уравнений дают существенно нелинейную картину.

С целью исследования испарения в газ с неконденсируемой компонентой в рассматривается бинарной смесь газов с нагреваемыми поверхностями в широком диапазоне чисел Кнудсена в зависимости от типа газовой смеси на основе численного решения нестационарного линеаризованного кинетического уравнения МакКормака.

Проведено сопоставление расчетных и опытных данных. Обобщение и оценка полученных результатов, полученных по исследованию теплообмена, температурных скачков и испарения в двухфазной системе - модели испарительной системы тепловой трубы. Главным результатом экспериментальных исследований является, что четко зафиксировано существование скачка температуры в межфазной области и его эффект может быть существенен для испарителей малого размера.

Принято участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов. Сделано 11 докладов на Международных и Всероссийских конференциях и семинарах для освещения и популяризации результатов ПНИ в 2015 году, из них 5 на этапе 3. К окончанию второго этапа 4 статьи опубликованы, 10 приняты, подготовлены и представлены к публикации.

Иностранным партнером проведено теоретическое и численное моделирование неравновесных процессов с фазовыми превращениями в микросистемах в части сравнения решений континуальной задачи с результатами расчетов по кинетическим уравнениям. Рассмотрена бинарная газовая смесь ограниченная двумя параллельными пластинами с разной температурой.

Получателем субсидии за отчетный период по этапу 3 выполнены все работы в соответствии с требованиями Технического задания, Плана-графика исполнения обязательств, требованиям по достижению значений показателей результативности, отчетная документация оформлена в надлежащем порядке. Обязательства, указанные в пункте 1.2 соглашения по 3 этапу исполнены надлежащем образом и в полном объеме.

Статьи:

1. Marchuk I. and Kabov O. Film Wise Vapor Condensation on Curvalinear Surfaces. Encyclopedia of Two-Phase Heat Transfer and Flow II: Special Topics and Applications. Editor John R. Thome, Vol. 3: Special Topics in Condensation, Imperial College Press, 2015, P. 133-176, http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/9311;

2. Гатапова Е.Я., Филипенко Р.А., Люлин Ю.В., Марчук И.В., Граур И.А., Кабов О.А. Экспериментальное исследование температурного поля в двухслойной системе жидкость-газ // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22, № 6, с. 729-734, DOI =10.1134/S0869864315060050

3. Ю.В. Люлин, С.Е. Спесивцев, И. В. Марчук, О. А. Кабов, «Исследование динамики разрыва горизонтального слоя жидкости с точечным нагревом со стороны подложки», Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 21, с. 22-29, http://journals.ioffe.ru/pjtf/2015/21/page-22.html.ru .

4. Марчук И.В., Кабов О.А. Модель пленочной конденсации пара на криволинейных поверхностях // ДАН, 2016, том 466, №1, С. 1-5. DOI: 10.7868/S0869565216010096\_