**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 № 2 в период с 01.01.2015 г. по 30.06.2015 г. выполнялись следующие работы:

1. Разработана модель процесса конденсации движущегося пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберного пространства с учетом капиллярных сил и сил гравитации.

2. Проведен анализ влияния скорости потока пара на интенсивность конденсации.

3. Разработана техническая документация на изготовление экспериментального образца конденсатора пара новой конструкции для контурной тепловой трубы.

4. Создан экспериментальный образец конденсатора пара  для контурной тепловой трубы.

5. Создана экспериментальная установка для исследования испарения и теплообмена в динамическом мениске.

6. Проведено экспериментальное исследование теплообмена, температурных скачков и испарения в двухфазной системе - модели испарительной системы тепловой трубы.

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

8. Выполнено теоретическое и численное моделирование неравновесных процессов с фазовыми превращениями в микросистемах в части постановки граничных условий с кинетическими коэффициентами для фазовых превращений для нелинейной задачи (выполнено иностранным партнером).

При этом были получены следующие результаты:

Поставленные на второй этап исполнения проекта задачи полностью решены. Разработана модель процесса конденсации движущегося пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберного пространства с учетом капиллярных сил и сил гравитации. Построена нестационарная модель в приближении тонкого слоя. Показано, что достигается стационарный процесс и система является устойчивой, так как заполнение межреберного пространства приводит к уменьшению зоны интенсивной конденсации и снижению притока конденсата, поэтому наступает устойчивое равновесие между отсосом конденсата и притоком конденсата за счет конденсации. Модель процесса конденсации движущегося пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберного пространства с учетом капиллярных сил и сил гравитации должна обеспечивает верификацию расчетных алгоритмов и погрешность моделирования не более 10 %. Проведен анализ влияния скорости потока пара на интенсивность конденсации. Динамическое воздействие пара при относительно небольших его расходах основное влияние оказывает на течение конденсата в межреберном пространстве, когда величина межфазного трения достаточна для преодоления вязкого трения в жидкости. В данной модели влияние скорости потока пара моделируется опосредованно через величину скорости отсоса конденсата. При увеличении скорости отсоса конденсата высота заполнения межреберной впадины сконденсировавшейся жидкость уменьшается. Величина глубины заполнения канавки достаточно чувствительна к изменению скорости откачки конденсата. Показан механизм, как при заполнении межреберной впадины изменяется расход конденсата вдоль ребра. Исследовалось влияние перепада температуры при постоянной скорости отсоса. При увеличении перепада температуры увеличивается высота заполнения межреберной канавки. Разработана техническая документация на изготовление экспериментального образца конденсатора пара новой конструкции для контурной тепловой трубы. Эскизная конструкторская документация на изготовление экспериментального образца конденсатора пара новой конструкции для контурной тепловой трубы в составе: принципиальная схема; чертеж общего вида; инструкция по эксплуатации; программа и методика испытаний. Создан экспериментальный образец конденсатора пара для контурной тепловой трубы. Экспериментальный образец состоит из следующих основных компонентов: рабочий участок; высокоточный жидкостной насос; испаритель; жидкостной расходомер; персональный компьютер; датчики температуры и давления; регулятор расхода пара; регулятор давления; вакуумный насос; контрольно-измерительная система; теплоизоляционный кожух; тепловентилятор; термостат; жидкостной контейнер; вентили. Экспериментальный образец имеет возможность транспортировки и взаимозаменяемости отдельных узлов и агрегатов и имеет возможность дальнейшего применения в качестве учебно-демонстрационных для проведения образовательного процесса.

Создана экспериментальная установка для исследования испарения и теплообмена в динамическом мениске. В состав которой входят: рабочий участок; оптическая система; высокоточный насос; персональный компьютер; цифровая видеокамера; виброизоляционная настольная система с компрессором для размещения стенда. Экспериментальная установка имеет возможность транспортировки и взаимозаменяемости отдельных узлов и агрегатов и имеет возможность дальнейшего применения в качестве учебно-демонстрационных для проведения образовательного процесса.

Проведено экспериментальное исследование теплообмена, температурных скачков и испарения в двухфазной системе - модели испарительной системы тепловой трубы. С помощью разработанной методики установлено существование скачка температуры на межфазной границе, значение которого растет с увеличением температуры. Получена подробная картина температурного поля в области межфазной границы с помощью прецизионной подвижки с малым шагом. Погрешность итоговых измерений 5-10 % .

Принято участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов. Для освещения и популяризации результатов ПНИ на этапе 2 сделаны доклады на шести Международных и Всероссийских конференциях и семинарах для освещения и популяризации результатов ПНИ на этапе 2. Тем самым выполнен показатель по количеству мероприятий на 2015 год. Публикации и диссертации, подготовленные по результатам ПНИ.

По материалам работ первого и второго этапа опубликованы и приняты в печать 5 публикаций в издания, включенные в базы данных Scopus и WEB of Science со ссылками только на Соглашение в соответствии с требованиями:

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. Е.Я. Гатапова, Р.А. Филипенко, Ю.В. Люлин, И.А. Граур, И.В. Марчук, О.А. Кабов, " Экспериментальное исследование температурного поля в двухслойной системе жидкость-газ", Теплофизика и Аэромеханика, том 22, 2015. http://www.s pringer.c o m/phys ic s /c las s ic al+c o ntinuum+phys ic s /jo urnal/11510

3. И.В. Марчук, О.А. Кабов, " Исследование процесса конденсации пара на криволинейных ребрах с учетом капиллярных сил и гравитации", Теплофизика и Аэромеханика, том 22, 2015;

4. И.В. Марчук, О.А. Кабов, "Модель пленочной конденсации пара на криволинейных поверхностях", Доклады Академии Наук, Механика, 2015;

5. 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.

К окончанию второго этапа, статьи No 1, 5 опубликованы, статьи No 2, 3, 4 приняты в печать и находятся на верстке, выйдут в свет в 2015 году, кроме этих пяти статей 6 работ подготовлены и представлены к опубликованию. Что позволит выполнить индикатор по числу публикаций. Ссылка у всех статей только на данное Соглашение. В ходе работ в рамках данного ПНИ подготовлена к защите диссертация Люлина Ю.В. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук "Конвективная конденсация пара и испарение обдуваемого газом слоя жидкости в стесненных условиях". Диссертация будет защищена во втором полугодии 2015 года. Иностранным партнером выполнено теоретическое и численное моделирование неравновесных процессов с фазовыми превращениями в микросистемах в части постановки граничных условий с кинетическими коэффициентами для фазовых превращений для нелинейной задачи. В этих работах участвуют проф. Ирина Граур, аспирант Мин Туан Хо.

Впервые созданы: экспериментальный образец конденсатора, экспериментальная установка, модель конденсации. Получены результаты экспериментальных исследований. Показан механизм как при заполнении межреберной впадины изменяется расход конденсата вдоль ребра. Созданный экспериментальный образец конденсатора пара для контурной тепловой трубы имеет оригинальную конструкцию с ребрами относительно большого размера. Методика изготовления микротермопары малых размеров не имеет аналогов в мире. На данный момент не существует на рынке термопары таких размеров. Измерения температурных скачков и испарения в двухфазной системе - модели испарительной системы тепловой трубы с помощью уникальной микротермопары получены впервые в России и за рубежом. С помощью разработанной методики установлено существование скачка температуры на межфазной границе, значение которого растет с увеличением температуры. Впервые получена подробная картина температурного поля в области межфазной границы с помощью прецизионной подвижки с малым шагом.

Получателем субсидии за отчетный период по этапу 2 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 2 этапу исполнены надлежащем образом и в полном объеме.