

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.616.21.0016

Название проекта

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

Тематическое направление

Транспортные и космические системы

Исполнитель

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

Цели и задачи исследования

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.

Актуальность и новизна исследования

Исследования необходимы для создания новых эффективных теплообменных систем и энергоэффективных технологий производства энергии, которые работают при различных уровнях гравитации. Работы нашего проекта направлены на исследования процессов в пульсационных и контурных тепловых трубах и, соответственно, предложить пути их усовершенствования. Актуальность тематики для космических технологий трудно переоценить. Например, транспортный космический корабль содержит более 300 тепловых труб.

Разработанные нами устройства позволяют значительно усовершенствовать испарительную и конденсационную части. В проекте предложен новый прототип эффективной конденсационной системы для космических и наземных приложений. Данный конденсатор основан на максимальном использовании капиллярных сил, которые в условиях невесомости должны повышать эффективность теплообмена. Разработана собственная концепция того, как достичь сверхвысокой интенсивности испарения на порядок выше, чем в обычных аппаратах, связанная с динамической линией контакта “газ-жидкость-твердое тело”, где интенсивность испарения может возрасти в десятки раз. Охранных и иных документов, которые могут препятствовать патентованию предлагаемого решения, не выявлено. Ключевая задача также наличие перепадов температур на границе раздела. Такие перепады уже зафиксированы экспериментально в ходе проведения работ по проекту при атмосферном давлении.

Описание исследования

Проект главным образом направлен на: получение фундаментальных основ по созданию испарителя с удлинённым мениском для тепловой трубы; исследование межфазной области жидкость-пар/газ при испарении и конденсации; создание конденсатора и контурной тепловой трубы. Целесообразность выполнения работы с иностранным партнером из Франции Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels состоит в том, что партнер обладает уникальным опытом в исследованиях теплообмена в условиях микрогравитации. Участвует в нескольких экспериментах по теплообмену и физике жидкостей в параболических полетах и является участницей подготовки более чем десяти экспериментов Европейского Космического Агентства и Французского Космического Агентства на Международной Космической Станции, а также участвует в программе исследований с использованием баллистических ракет. IUSTI обладает значительным опытом создания контурных тепловых труб и изучением процессов в тепловых трубах, имеют контракты с индустрией по исследованиям тепловых труб.

Для проведения работ в рамках проекта созданы 2 экспериментальных стенда и два экспериментальных образца, на которых проведены все исследования и испытания:

- 1) Экспериментальный образец конденсатора пара для контурной тепловой трубы.
- 2) Экспериментальная установка для исследования испарения и теплообмена в динамическом мениске.
- 3) Экспериментальная установка с микротермопарой для исследования температурных скачков в межфазной области.
- 4) Экспериментальный образец контурной тепловой трубы .

В экспериментальных исследованиях использовались следующие уникальные методики:

- 1) Измерительная система для конденсатора. Высокоточный контроль расхода жидкости конденсата обеспечивается с помощью расходомера Bronkhorst Mini Cori-Flow. Расходомер предназначен для измерения расхода охлаждающей воды в конденсаторе. Датчик давления предназначен для измерения абсолютного давления в рабочем участке: модель – WIKA p-30. Регулятор расхода пара: модель – Bronkhorst LOW-DP F-201D. Регулятор давления предназначен для контроля и понижения давления в рабочем участке: модель – Bronkhorst El-Press. Вакуумный насос: предназначен для понижения давления в рабочем участке и откачки паро-газовой смеси из РУ перед началом эксперимента. Модель – Agilent IDP-15. Контрольно-измерительная система: NI TB 9214 подключается к ПК через коммутационный блок cDAQ 9171 и кабель USB. Термостат осуществляет контроль температуры охлаждающей воды для (лучше звучит без предлога, либо заменить на «в конденсаторе») конденсатора: модель – Huber, MPC-K6.
- 2) Оптическая система высокого разрешения. Включает: микроскоп Olympus BX51 с различными объективами и монохромной камерой Point Grey.

Разрешение составило 1мкм на пиксел при использовании 10крат объектива и 100нм на пиксел при использовании 100крат объектива . Частота съемки варьировалась от 10 до 40 кадров /с .Метод используется для исследований удлиненного динамического мениска при испарении.

3) Теневая методика. Представляет собой оптическую систему, состоящую из источника света, системы линз и цифровой видеокамеры TheImageSource. В качестве источника света используется светодиод и система линз, которая на выходе образует параллельный пучок света. Разрешение 3 мкм на пиксель. Метод используется для исследований удлиненного мениска и исследований межфазного теплообмена.

4) Система для измерения температур на межфазной границе жидкость-газ. Система состоит из: созданных уникальных микротермопар с размером чувствительного элемента менее 4 мкм, микроподвижки Zaber, обеспечивающей перемещение с шагом менее

Результаты исследования

1) Разработан и создан экспериментальный образец конденсатора для контурной тепловой трубы. Образец позволяет исследовать процессы теплообмена возникающих при конденсации неподвижного пара в конденсаторе с продольным криволинейным ребром и отсосом конденсата из межреберной впадины, и моделирует работу конденсатора при различных режимах и условиях эксплуатации: температурный напор, расход пара, давление, температура, параметры отсоса жидкости. Разработана математическая модель процесса конденсации. Проведен анализ влияния уровня заполнения межреберных впадин на интенсивность конденсации. Величина уровня заполнения межреберных впадин существенно влияет на интенсивность конденсации в целом, однако не влияет на процесс конденсации на выпуклой части ребер.

2) Разработан метод создания удлиненного динамического мениска, обеспечивающего интенсивное испарение и интенсификацию теплообмена. Созданная в ходе проекта установка по изучению динамики испаряющегося мениска позволила получить новые важные данные. Применено два высокоточных оптических метода: теневой и метод с использованием микроскопа, обеспечивающий разрешение 100 нм/пиксель. Изучено изменение краевого угла смачивания при разнице температур между подложкой и газом 5С. Изучено поведение динамического краевого угла мениска при натекании жидкости. Получены основные характеристики испарения на поверхностях с различным покрытием. Для различных покрытий подложки установлена связь скоростей испарения и контактной линии с величиной краевого угла смачивания и его гистерезиса. Построена математическая модель для удлиненного мениска в приближении тонкого слоя с использованием основных законов сохранения в механике сплошных сред, принципов неравновесной термодинамики и действия расклинивающего давления.

3) Проведены теоретические и экспериментальные исследования в области межфазной границы жидкость-пар в испарительной системе тепловой трубы с

использованием кинетической теории. Созданы: экспериментальная установка с микротермопарой для исследования температурных скачков в межфазной области; серия микротермопар малых размеров. Разработан метод исследования межфазной границы раздела с помощью микротермопар. Созданные микротермопары малых размеров имеют поперечный размер не более 4 микрон и обеспечивают проведение измерений с точностью не хуже 0.01 К. 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. Численные расчеты произведены в сотрудничестве с иностранным партнером.

4) Разработан и создан экспериментальный образец контурной тепловой трубы и проведены его испытания и тестирование в различных условиях. Проведено: испытание работы модели конденсатора новой конструкции в составе контурной тепловой трубы; экспериментальное исследование устойчивости работы экспериментального образца контурной тепловой трубы; экспериментальное исследование конденсации пара в конденсаторе с продольным криволинейным ребром и отсосом конденсата из межреберной впадины.

В ходе выполнения проекта принято участие в 16 мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов подано 2 заявки на патент и опубликовано 19 научных статей, в том числе высорейтинговых международных журналах Int. J. Heat Mass Transfer.

Практическая значимость исследования

Полученные результаты имеют наиболее перспективные внедрения в развитие космической энергетики, а именно в развитие тепловых труб, испарителей, конденсаторов. Результаты также могут оказать принципиальное влияние на развитие техники охлаждения микроэлектронного оборудования.. Выход на российский и зарубежный рынки возможен как путем продажи лицензий на технические решения, так и путем продажи продукции. Наиболее вероятными потребителями ожидаемых результатов на международном и российском рынке представляются фирмы, занимающиеся разработкой и изготовлением оборудования для космической техники. Например, фирма «Euro Heat Pipes» (Бельгия), Роскосмос (Россия), НПО им. С.А. Лавочкина (Россия), НПВП «Турбоконт» (Калуга), «Теркон КТТ» (Екатеринбург). Перспективность применения предлагаемых контурных тепловых труб на российском рынке в данный момент оценивается до нескольких сотен экземпляров в год. В результате проведения работ получены: фундаментальные основы создания испарительной системы и контурной тепловой трубы с конденсатором нового типа, патенты, ноу-хау, публикации. Методика проведения экспериментов, а также методы моделирования уже используются в образовательной деятельности для студентов НГУ и НГТУ. Пишутся дипломные работы, ведутся практические занятия. На основе работ, проведенных в рамках данного Соглашения защищено несколько дипломов бакалавра и магистра.