**Создание научно-технического задела для высокоэффективных капельных охлаждающих систем**

Соглашение **№ 14.613.21.0038** в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы»

**Приоритетное направление**: «энергоэффективность, энергосбережение »

**Период выполнения:** 11.11.2015- 31.12.2016

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

**Иностранный партнер:** State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China / Государственной Ключевой Лаборатории Многофазных Течений в Энергетике, Транспортный Университет Сианя, Сиань, Китай

**Цели выполнения прикладных научных исследований**

Создание научно-технического задела для высокоэффективных капельных охлаждающих систем. Развитие сотрудничества с иностранным партнером.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 11.11.2015г. **№ 14.613.21.0038** 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 № 1 в период с 11.11.2015 г. по 31.12.2015 г. выполнялись следующие работы:

1. Сделан аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках исследований, в том числе обзор научных информационных источников.

2. Проведены патентные исследования в соответствии с требованиями ГОСТ Р 15.011-96.

3. Обосновано и выбрано направление исследований.

4. Сделан анализ  технических решений в области интенсификации теплообмена с использованием организованных пристенных капельных течений в микро и мини каналах на основе выполненных патентных исследований.

5. Осуществлена постановка задачи по разработке трехмерной математической модели тепломассообмена и динамики в капле жидкости, сидящей на нагреваемой поверхности, учитывающая теплообмен в твердой подложке.

6. Выведено эволюционное уравнение в приближении тонкого слоя.

7. Произведена модернизация экспериментального стенда для исследования организованных капельных течений жидкости, увлекаемых потоком газа, в микро и миниканалах:

7.1 Разработана эскизная конструкторская документация.

7.2 Модернизирован экспериментальный стенд.

7.3 Разработаны программа и методика экспериментальных исследований.

8. В Сиане (КНР) подготовлен экспериментальный стенд для изучения влияния изменений свойств смачивания твердой подложки на теплофизику и динамику течения в капле сложной жидкости  (выполнено иностранным партнером).

При этом были получены следующие результаты:

Сделан аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках исследований, в том числе обзор научных информационных источников. Обзор включает более 50 источников. Анализ современных работ в области исследований показал, что задачи сформулированные в проекте стоят на переднем крае науки и техники и востребованы как научным сообществом, так и индустрией. В частности, нет ясности о динамике и основных факторах влияющих на интенсивность испарения в неизотермических случаях и нестационарном случае. Практически не исследованиы относительно большие капли, не достаточно исследован смешанный режим испарения. Нет обобщающих моделей для вышесказанных явлений, трехмерное моделирование крайне ограничено.

Проведены патентные исследования в соответствии с требованиями ГОСТ Р 15.011-96. Наименование объекта «Микрокапельная охлаждающая система». Краткое описание объекта: микрокапельный поток, созданный специальным каплеформирователем, движется под действием спутного потока пара или газа в мини- или микроканале. Охлаждение электронного компонента происходит за счет испарения капель микрокапельного течения. На 25.12.2015 г. исследуемый объект соответствует мировому уровню техники в заданной области. Охранных и иных документов в РФ, США, Японии, Китае и др. странах, которые будут препятствовать патентованию данного решения, не выявлено. Таким образом, согласно анализу найденных документов и источников научно-технической информации: выбранное направление исследований является перспективным, исследуемый объект соответствует мировому уровню техники в заданной области техники. Отчет о патентных исследованиях прилагается отдельным документов в составе отчетной документации.

Обоснованы и выбраны направления исследований. Задачей проекта является создание устройства для формирования организованных пристенных капельных теченийжидкости в микро- и миниканалах с целью существенной интенсификации теплообмена и эффективного охлаждения микроэлектронного оборудования с локальным тепловыделением. Также создание устройства, эффективно и устойчиво работающего, как в земных условиях, так и в невесомости, в том числе при любых нестандартных ситуациях, в частности, в случае пульсаций давления, вибраций системы, отклонения системы от горизонтального положения, неоднородного или нестационарного тепловыделения на электронном компоненте.

Сделан анализ технических решений в области интенсификации теплообмена с использованием организованных пристенных капельных течений в микро и мини каналах на основе выполненных патентных исследований. Существует большое количество решений систем охлаждения с использованием течений в микроканалах. В проекте создается способ охлаждения, основанный на управляемом течении цепочек капель в микроканале. Существуют лишь единицы работ и способов управляемого течения. В патентных базах не найдено ни одного технического решения, которому присущи все признаки исследуемого объекта, а именно: создание микрокапельного течения; движение микрокапельного потока в мини- или микроканале; движение микрокапельного потока под действием спутного потока газа или пара; испарение в области микрорегиона. Данное направление является крайне перспективным.

Поставлена и разработана трехмерная математическая модель тепломассообмена и динамики в капле жидкости, сидящей на нагреваемой поверхности, учитывающая теплообмен в твердой подложке. Особенностью задачи является учет многослойности твердой подложки, учет диффузионного потока, а также трехмерность самой задачи.Выведено эволюционное уравнение в приближении тонкого слоя для толщины капли. Одной из особенностей является, что учитываются силы Лондона-ван дер Ваальса и электростатические эффекты в расклинивающем давлении.

Модернизирован экспериментальный стенд для исследования организованных капельных течений жидкости, увлекаемых потоком газа, в микро и миниканалах. Стенд представлен комиссии, составлен и утвержден Акт модернизации экспериментального стенда. Разработана эскизная конструкторская документация на модернизированный экспериментальный стенд для исследования организованных капельных течений жидкости, увлекаемых потоком газа, в микро и миниканалах, в составе: принципиальная схема, чертеж общего вида, инструкция по эксплуатации, пояснительная записка, программа и методика экспериментальных исследований. ЭКД и Акт представлены в составе отчетной документации.

В Сиане (КНР) подготовлен экспериментальный стенд для изучения влияния изменений свойств смачивания твердой подложки на теплофизику и динамику течения в капле сложной жидкости. В частности, экспериментальное оборудование настроено и готово к изучению теплофизики и динамики капель, в том числе оборудование для модификации поверхности, оборудование для создания капель, оборудование для измерения и контроля температуры и скоростное оборудование для наблюдений высокого разрешения. Также иностранный партнер приступил к моделированию методом молекулярной динамики (МД) влияния функционализированой гидроксилом поверхности и шероховатой поверхности на смачиваемость поверхности графита. Все работы свидетельствуют о том, что исследовательская программа будет осуществлена в установленные сроки, а также о высоком уровне проводимой работы. В Приложении А к данному отчету описаны работы выполненные на первом этапе.

Принято участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию результатов. Для освещения и популяризации результатов исследований на этапе 1, на сделаны одна лекция на Всероссийской конференции и один постерный доклад. Подтверждающие документы представлены в составе отчетной документации.

При проведении исследований использован объект зарубежной инфраструктуры сектора исследований и разработок. А именно, ресурсы атомно-силового микроскопа и инфракрасной видеокамеры. Подтверждающие документы представлены в составе отчетной документации.

Целесообразность выполнения работы с партнером из Китая состоит в том, что партнер обладает обширным и уникальным опытом в исследованиях тепломассообмена в энергоэффективных системах. Группа профессора Bai (SKLMFPE, Китай) имеет большой опыт в исследовании тепло- и массообмена в двухфазных потоках. Обладают опытом в исследовании сложных многокомпонентных жидкостей и имеют несколько контрактов с промышленностью. SKLMFPE имеет самое современное оборудование для исследования процессов теплообмена в сложных системах. Сотрудничество является плодотворным, поскольку, во-первых, исследования дополняют друг друга: в Новосибирске исследуются чистые жидкости, в Сиане сложные многокомпонентные жидкости. Во-вторых, совместными усилиями создается модель: в Новосибирске применяются общие континуальные модели, а группа из Сианя смоделирует микромасштабные особенности методами молекулярной динамики. Планируются совместные исследования, как одиночных капель, так и группы капель. Эксперименты по исследованию организованного капельного течения в канале будут сделаны совместно. Планируется изучить влияние потока газа на организацию течения, а также влияние твердой подложки и ее смачивания. Характеризацию различных поверхностей предполагается выполнить в Сияне на новейшем атомно-силовом микроскопе. В ходе реализации проекта происходит постоянный обмен знаниями и технологиями между Институтом теплофизики СО РАН и State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering. Будут организованы стажировки специалистов из Новосибирска в Сиань и наоборот. Предполагается финансирование со стороны партнера из Китая для экспериментальных исследований сложных капель и кооперация для внедрения разработок и возможного последующего производства. Данное сотрудничество обеспечит решение поставленных задач и получение ожидаемых научных и научно-технических результатов.

Получателем субсидии за отчетный период по этапу 1 выполнены все работы в соответствии с Требованиями к работам и их результатам, Плана-графика исполнения обязательств, требованиям по достижению значений показателей результативности, отчетная документация оформлена в надлежащем порядке. Обязательства, указанные в пункте 1.2 соглашения по 1 этапу исполнены надлежащем образом и в полном объеме.