**Создание технологии охлаждения теплонапряженных элементов с использованием однокомпонентных двухфазных потоков**

**Этап 5**

Соглашение № 14.613.21.0011 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы»

**Приоритетное направление**: «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика»

**Период выполнения:** 27.08.2014- 31.12.2016

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

**Иностранный партнер:** Kyushu University, г. Фукуока, Япония

**Цели выполнения прикладных научных исследований**

Создание научно-технического задела, разработка и создание экспериментального образца испарительной системы охлаждения теплонапряженных элементов с использованием однокомпонентных двухфазных потоков. Развитие сотрудничества с иностранным партнером.

В ходе выполнения проекта на этапе № 5 в период с 01.07.2016 г. по 31.12.2016 г.:

1. Разработана техническая документация на создание экспериментального образца испарительной системы охлаждения теплонапряженных элементов при помощи однокомпонентных двухфазных потоков.

2. Создан экспериментальный образец испарительной системы охлаждения теплонапряженных элементов при помощи однокомпонентных двухфазных потоков.

3. Выполнены обобщение и оценка результатов исследований.

4. Разработаны рекомендации по созданию наиболее энергоэффективных систем охлаждения.

5. Разработаны рекомендации по использованию результатов проведенных НИР в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках.

6. Разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции.

7. Подготовлен заключительный отчет о НИР, проведено его рассмотрение на учёном совете.

8. Оформлены 2 заявки на патент. Для освещения и популяризации результатов ПНИ, на 2 Всероссийских конференциях участниками проекта было сделано 3 доклада.

9. Проведено исследование двухфазных потоков при нагреве от протяженного нагревателя с использованием новейшего оборудования. Обобщены и оценены полученные данные (выполняется иностранным партнером).

В 2016 году было опубликовано (принято в печать) 10 статей в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science.

Получателем субсидии за отчетный период по 5 этапу 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 5 этапу исполнены надлежащем образом и в полном объеме.

Все цели, поставленные перед проектом выполнены полностью. За весь срок выполнения проекта получены следующие результаты:

1) На созданной экспериментальной установке выполнены экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена на сапфировых подложках с линейкой микронагревателей, разработанных иностранным партнером. Проведен анализ физических механизмов, которые могут повлиять на динамику и испарение контактной линии на поверхностях с контрастным смачиванием или рельефом поверхности, частным случаем которой является поверхность с линейкой микронагревателей. Подложки с различными покрытиями были охарактеризованы при помощи микроскопии. При помощи скоростной визуализации исследована скорость распространения сухого пятна. Установлено, что смачиваемость подложки существенно влияет на скорость распространения контактной линии. Также установлено, что на участках подложки, имеющих, большую температуру, скорость перемещения контактной линии выше.

2) Проведены расчеты совместного нестационарного движения пленки жидкости и потока пара той же жидкости в микроканале при локальном нагреве. Показано, что локальный нагрев вызывает существенные трехмерные деформации в области нагрева. Значительную роль в формировании деформаций играет термокапиллярный эффект. Обнаружен принципиальный эффект влияния типа теплового условия задаваемого на подложке на рассматриваемые процессы. Установлено существование некоторого критического расстояния между нагревателями на подложке при котором утончение пленки становится максимальным, с ростом расстояния между нагревателями этот эффект ослабевает.

3) Подготовлен экспериментальный стенд для проведения исследований в пленке жидкости, движущейся под действием потока пара/газа в канале при высокоинтенсивном локальном нагреве. Построена карта расслоенного двухфазного течения в канале в изотермическом случае (в отсутствии нагрева). Обнаружена существенная стабилизация течения пленки к разрыву и кризису теплообмена. В некоторых режимах критический тепловой поток возрастает до 10 раз по сравнению с чисто гравитационным течением пленки, что подтверждает перспективность разрабатываемой системы для охлаждения оборудования с высоким выделением тепла. Полученные результаты были использованы при проектировании экспериментального образца системы охлаждения.

4) Выполнены исследования теплофизических процессов в пассивной конденсационно-сепарационной системе. Обнаружено, что увеличение паросодержания, которое может быть вызвано увеличением неконденсируемых примесей в паре, приводит к уменьшению теплового потока и соответственно снижается интенсивность конденсации. Проведено моделирование положения мениска в сепараторе с использованиемп уравнений Навье-Стокса в предположении, что процесс стационарный, а, значит, граница раздела жидкость – пар неподвижна. Получено хорошее соответствие результатов моделирования с данными эксперимента. Данная конденсационно-сепарационная система используется при создании экспериментального образца испарительной системы охлаждения.

5) На основе проведенных исследований спроектирован и изготовлен экспериментальный образец испарительной системы охлаждения теплонапряженных элементов с использованием однокомпонентных двухфазных потоков.

В физических исследованиях особое внимание удедялось изучению гидродинамики и теплообмена в испаряющемся мениске, моделирующем пленку жидкости в области ее разрыва. Эти исследования выполнены совместно с коллегами из Японии, используя разработанную ими технологию микро-нагревателей на сапфировой пластине. Иностранный партер обладают уникальной технологией изготовления микросенсоров (микронагревателей) которые обеспечивают высокую точность измерений. Данный аспект является принципиальным для исследования процессов вблизи контактной линии.

Научно-технический уровень полученных результатов не только соответсует мировому уровню, но и во многом определяет его.