



Исследования  
и разработки  
Москва 2016

Приоритетное направление:  
**Транспортные и космические системы**

Программное мероприятие:  
2.2 «Поддержка исследований в рамках сотрудничества с государствами — членами Европейского союза»

Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»

Соглашение № 14.616.21.0016 от 26 сентября 2014 г. на период 2014 - 2016 гг.

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

Руководитель проекта: Зав. лаб., д.ф.-м.н. Кабов О.А.

### Получатель субсидии

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

### Иностранный партнер

Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels, Марсель, Франция  
<http://justi.univ-provence.fr>

Партнер обладает уникальным опытом в исследованиях теплообмена в условиях микрогравитации. Участвует в нескольких экспериментах по теплообмену и физике жидкостей в параболических полетах и является участником более десяти экспериментов ЕКА и Французского Космического Агентства на МКС, участвует в программе исследований с использованием баллистических ракет. IUSTI обладает значительным опытом создания контурных тепловых труб, расчетов по кинетическим уравнениям.

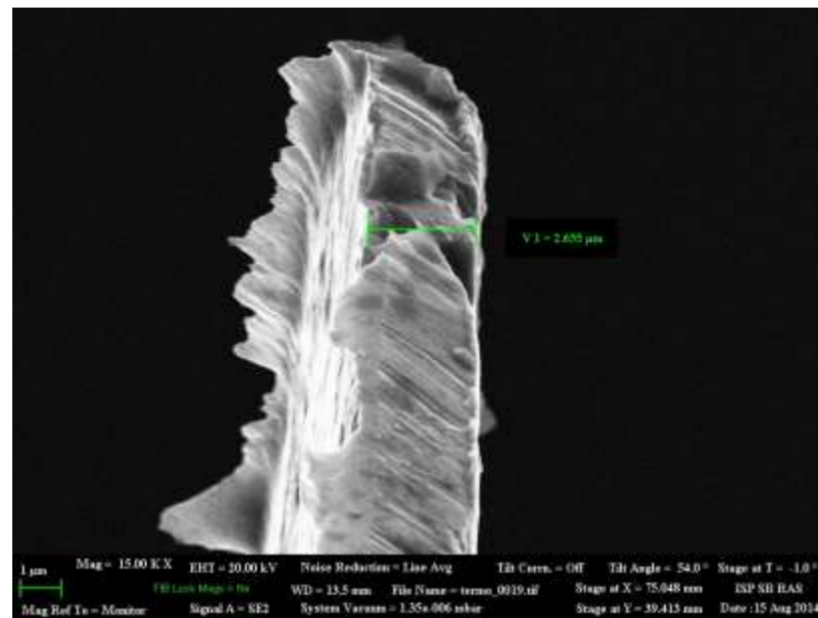
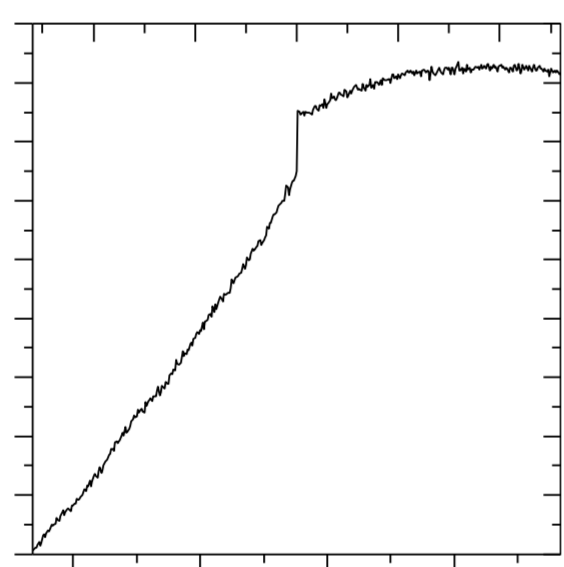
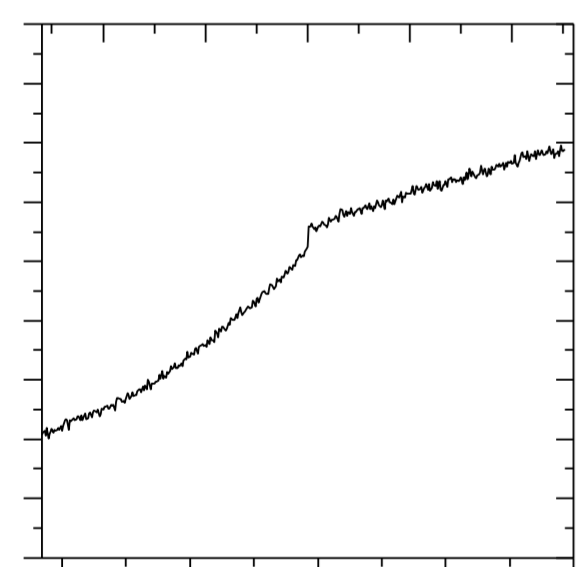
Партнер выполняет расчеты по кинетическим уравнениям Больцмана.

### Ожидаемые результаты проекта

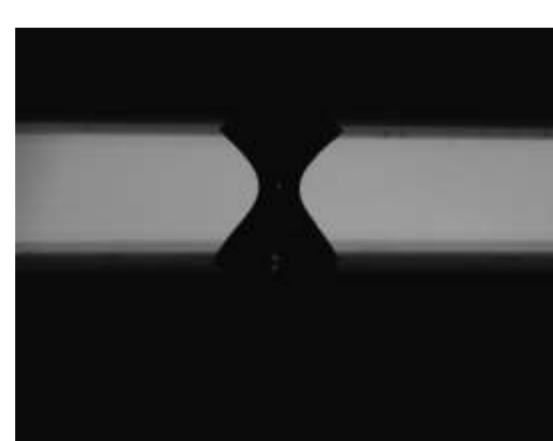
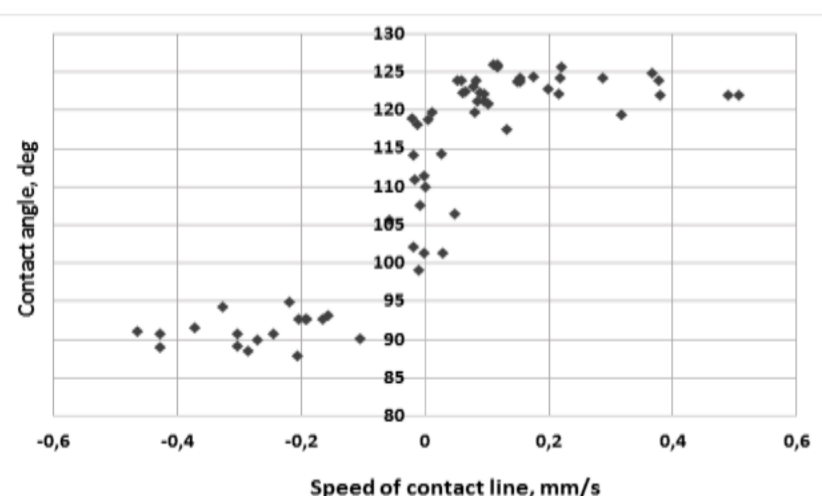
Созданы 2 экспериментальных стенда и 2 экспериментальных образца, на которых проведены все исследования и испытания:

- 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.

### Текущие результаты проекта



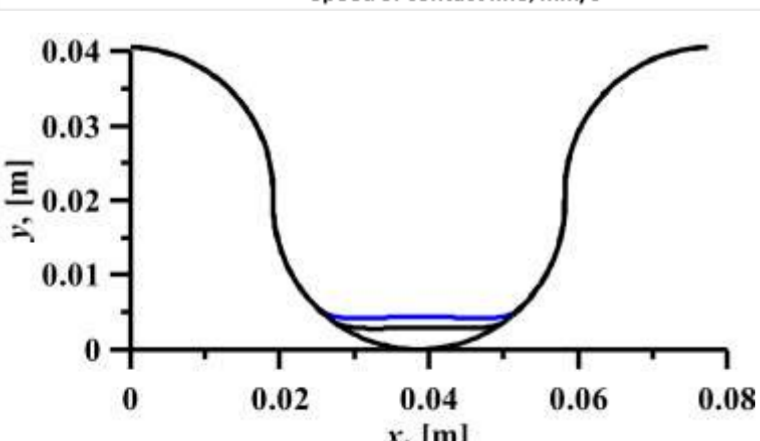
Профиль температуры вблизи межфазной границы вода-воздух при испарении мощность нагрева: 91 mW, 144 mW.



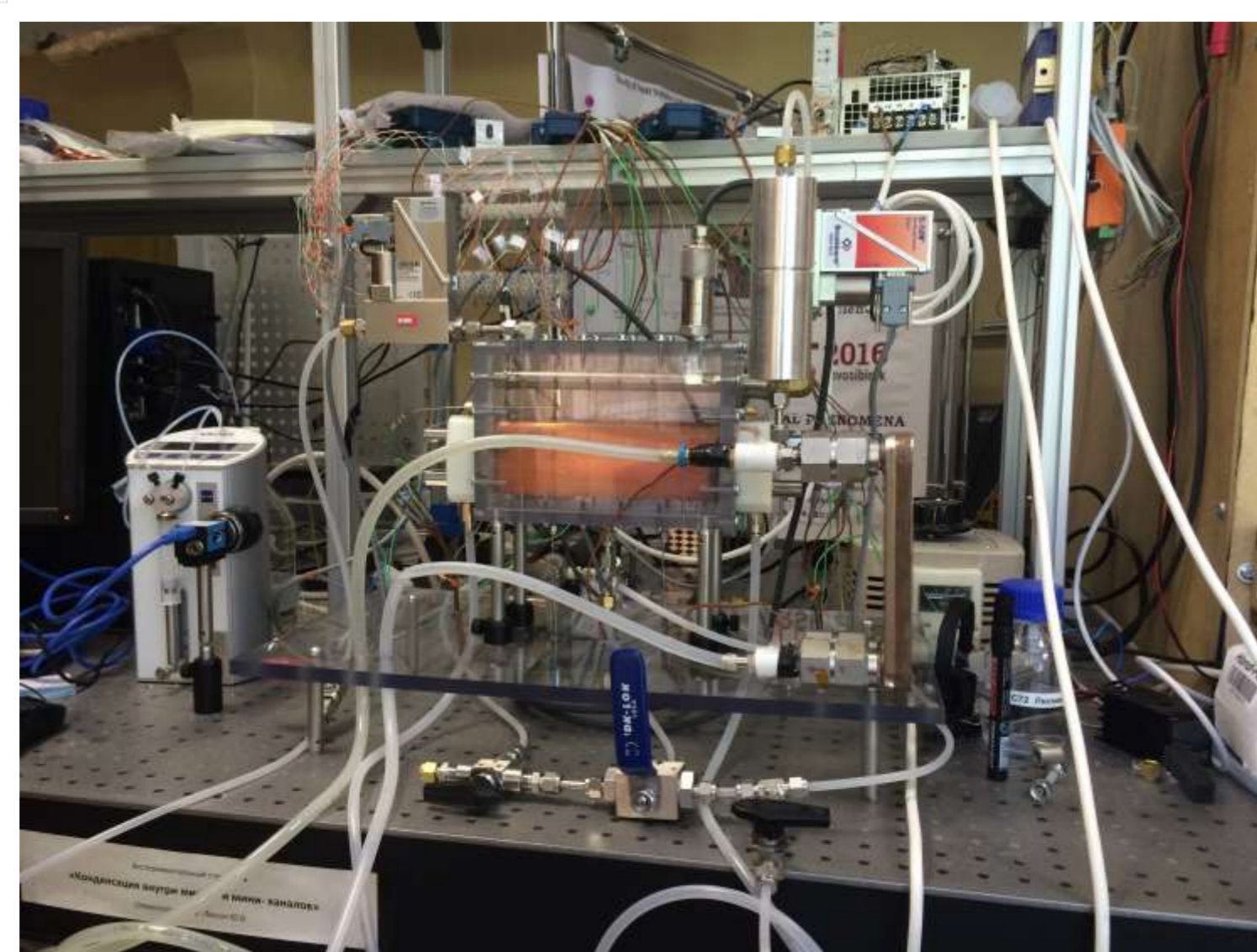
Микротермопара.

Зависимость скорости контактной линии от краевого угла смачивания на подложке с покрытием Noa81.

Образующийся испаряющийся мениск жидкости. Теневого метода.



Распределения толщины пленки конденсата этанола. а) В сечении оребренной поверхности; б) зависимости толщины пленки от длины образующей кривой. Черная - 10 секунд конденсации без отсоса. Синяя - с включенным отсосом через 220 секунд после включения отсоса. Щель 4 мм.



Фотография созданного экспериментального образца контурной тепловой трубы с конденсатором с продольным криволинейным ребром и отсосом конденсата из межреберной впадины.

### Цели и задачи проекта

1. 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.
2. Проект главным образом направлен на: получение фундаментальных основ по созданию испарителя с удлиненным мениском для тепловой трубы; исследование межфазной области жидкость-пар/газ при испарении и конденсации; создание конденсатора и контурной тепловой трубы.

### Перспективы практического использования

Полученные результаты имеют наиболее перспективные внедрения в развитие космической энергетики, а именно в развитие тепловых труб, испарителей, конденсаторов. 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. 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 используются в образовательной деятельности для студентов НГУ и НГТУ.

1) Разработан и создан экспериментальный образец конденсатора для контурной тепловой трубы. Образец позволяет исследовать процессы теплообмена при конденсации пара в конденсаторе с продольным криволинейным ребром и отсосом конденсата из межреберной впадины, моделирует работу конденсатора при различных режимах и условиях эксплуатации: температурный напор, расход пара, давление, температура, параметры отсоса жидкости. Разработана модель процесса конденсации неподвижного пара в конденсаторе с продольными криволинейными ребрами с отсосом конденсата из межреберного пространства с учетом капиллярных сил и сил гравитации. 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. Создан стенд по изучению динамики испаряющегося мениска. Изучено изменение краевого угла смачивания при разнице температур между подложкой и газом вблизи жидкости 5 – 6 С.

3) Создана экспериментальная установка с микротермопарой для исследования температурных скачков в межфазной области. Созданные микротермопары малых размеров для исследования межфазной границы раздела 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. Численные расчеты произведены в сотрудничестве с иностранным партнером.

4) Разработан и создан экспериментальный образец контурной тепловой трубы, проведены его испытания и тестирование в различных условиях. Проведено испытание работы конденсатора новой конструкции с продольным криволинейным ребром и отсосом конденсата из межреберной впадины.