



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

«*Российская академия наук*»

(РАН)

Ленинский просп., 14, Москва, ГСП-1, 119991, Телетайп/Телекс 411095 ANS RU,  
Факс (495) 954-33-20 (Ленинский просп., 14), (495) 938-18-44 (Ленинский просп., 32а)  
Справочное бюро (495) 938-03-09, http: // www.ras.ru

24.10.2023 № 4-Ш-951-1851/1

На № б/н от 15.08.2023

Адвокату  
Шишебарову  
Геннадию Александровичу

О направлении ответа

630073,  
Новосибирской обл.  
г. Новосибирск,  
ул. Микрорайон Горский, д. 8

Уважаемый Геннадий Александрович!

Российская академия наук (далее - РАН), в дополнение к ранее направленному письму от 14.09.2023 г. № 4-ш-951-1851, направляет Заключение Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН по научным результатам, полученным в ходе выполнения работ по проекту, выполненному в рамках соглашения ФЦП № 14.61321.0011 от 27.08.2014 г. (приложение).

Приложение: Заключение Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН в 1 экз. на 3 л. (только в адрес).

Вице-президент РАН  
академик РАН

С.Л. Чернышев

Исп. Молчанов А.А.  
Тел. +7(499) 237-38-41 доб. 1611

## Заключение

Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН по научным результатам, полученным в ходе выполнения работ по проекту ФЦП № 14.613.21.0011, соглашение от 27.08.2014 г.

Проект ФЦП № 14.613.21.0011 «Создание технологии охлаждения теплонагруженных элементов с использованием однокомпонентных двухфазных потоков» находится в русле развития микросистемной техники и основанных на ней технологий. Рост производительности микроэлектронных устройств при одновременном уменьшении их характерных размеров ведет к увеличению генерируемого ими теплового потока на единицу площади. По этой причине, исследования отведения теплоты от локального источника тепла остаются актуальными в ряду задач современной теплофизики.

Суть Проекта состояла в исследовании процессов теплообмена в области линии контакта газ - жидкость - твердое тело, направленном на решение данной задачи. Новизна подхода связана с нетривиальностью выбора типа пленочной системы охлаждения, а именно, системы с метастабильными разрывами (сухими пятнами) в тонкой пленке жидкости, по сути, с неустойчивыми разрывами малого размера, периодически появляющимися на подложке. Осуществление такого подхода, не имевшего аналогов в мировой практике, потребовало выполнения теоретических, численных и прецизионных экспериментальных исследований. Их техническая сложность обусловлена спецификой работы с пленками микронной толщины.

В итоге, был получен результат, показавший новый путь к интенсификации теплообмена при испарении в тонкой пленки жидкости, движущейся под действием газовой среды, в 2-3 раза, посредством формирования метастабильных короткоживущих сухих пятен малого масштаба.

Заявленные цели Проекта состояли в:

1. Создании научно-технического задела;
2. Разработке и создании экспериментального образца испарительной системы охлаждения теплонапряженных элементов с использованием однокомпонентных двухфазных потоков;
3. Развитии сотрудничества с иностранным партнером.

Суть проделанной работы для фактического достижения заявленных целей Проекта подробно изложена в документах, приложенных к заявке на составление настоящего Заключения. В частности, в ходе исследования были

получены ответы на ключевые вопросы, создавшие основу научно-технического задела, а именно:

1) будет ли предложенная авторами технология охлаждения за счет испарения тонкой пленки жидкости, движимой чистым паром или смесью пара и воздуха, достаточно эффективной?

2) если да, то по каким принципам осуществить выбор газовой фазы?

3) какие системы охлаждения будут наиболее эффективными с точки зрения отведения максимальных потоков теплоты и максимальных коэффициентов теплоотдачи?

4) за счет чего может быть достигнут высокий уровень отвода теплоты? Наиболее весомый результат задела состоит в создании экспериментального образца испарительной системы охлаждения. Дальнейшие исследования с использованием образца подтвердили, что отводимые тепловые потоки могут существенно превышать  $1 \text{ кВт/см}^2$ .

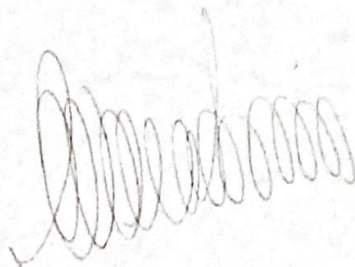
**Выполнение проекта подтвердило перспективность исследований по интенсификации теплообмена в выбранном направлении и дало толчок к более детальному исследованию ряда задач.** Например, обнаружение остаточного слоя сверхтонкой пленки (5-10 микрон) перед разрывом слоя жидкости стало одним из основных результатов представленной Д.Ю. Кочкиным диссертации. Судя по выводам в диссертации, основанным на применении современных методик с высоким пространственным и временным разрешением (ИК-термография, классический и синтетический шпирен-метод, высокоскоростная видеосъемка, конфокальный метод), впервые были обнаружены термокапиллярные эффекты, важные для повышения эффективности теплообмена стенки с тонкой (и сверхтонкой) пленкой теплоносителя. Речь идет, в частности, об явлении образования остаточной пленки, объясненном вязким трением в жидкости, препятствующим полному разрыву пленки.

С формальной стороны вопроса, все плановые показатели Соглашения, подписанного с Министерством, были выполнены, а по количеству публикаций в индексируемых в международных базах данных журналах и по объему привлеченных внебюджетных средств они были перевыполнены. Иностранному партнеру также выполнены взятые на себя обязательства за исключением физической поставки нагревательного элемента для экспериментов на территории РФ в результате действия форс-мажорных обстоятельств, проявившихся после начала Проекта.

**В целом, благодаря выполнению Проекта российские ученые вошли в группу мировых лидеров в этой области науки.** Была сформулирована и обоснована новая научная идея повышения интенсивности теплообмена, включая методику

ее осуществления. Результаты признаны мировым сообществом. Укажем, в этой связи, приглашение авторов Проекта к написанию обзорной статьи для журнала «Annual Review of Fluid Mechanics», занимающего первую строку в мировом рейтинге журналов по механике жидкости и газа.

Зам. академика-секретаря  
ОЭММПУ РАН  
член-корреспондент РАН



А.Ю. Вараксин