

Форма «Т». Титульный лист заявки в Российский научный фонд

Конкурс 2017 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами»

Название проекта Функциональные энергоэффективные поверхности для интенсификации теплообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств	Номер проекта 17-19-01757	
	Код типа проекта: ОНК(2)	
	Отрасль знания: 09	
	Основной код классификатора: 09-201 Дополнительные коды классификатора: 09-205 09-406	
	Код ГРНТИ 44.00.00	
Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Дмитриев Александр Сергеевич	Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +7 9166542313, asdmitriev@mail.ru	
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ"		
Объем финансирования проекта в 2017 г. 4200 тыс. руб.	Год начала проекта: 2017	Год окончания проекта: 2019
Фамилии, имена, отчества (при наличии) основных исполнителей (полностью)	Дмитриев Александр Андреевич Струлева Евгения Вячеславовна Макаров Петр Георгиевич (руководитель проекта в данной графе не указывается)	
Гарантирую, что при подготовке заявки не были нарушены авторские и иные права третьих лиц и/или имеется согласие правообладателей на представление в Фонд материалов и их использование Фондом для проведения экспертизы и для обнародования (в виде аннотаций заявок).		
Подпись руководителя проекта _____ /А.С.Дмитриев/	Дата регистрации заявки 19 декабря 2016 г.	
Подпись руководителя организации _____ / _____ /		
Печать организации		

Форма 1. Сведения о проекте

1.1. Название проекта

на русском языке

Функциональные энергоэффективные поверхности для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств

на английском языке

Functional energy-efficient surface for the intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices

1.2. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, критическая технология:

Указывается согласно перечню (Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года №899) в случае, если тематика проекта может быть отнесена к одному из приоритетных направлений, а также внести вклад в развитие критических технологий Российской Федерации.

8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

17. Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов.

1.3. Ключевые слова (*приводится не более 15 терминов*)

на русском языке

функциональные энергоэффективные поверхности, интенсификация тепломассообмена,

термоинтерфейсы и термоинтерфейсные материалы, охлаждение и термостабилизация

на английском языке

Functional energy-efficient surface, intensification of heat and mass transfer, thermal interface materials, cooling and heat setting of electronic and energy devices

1.4. Аннотация проекта (*объемом не более 2 стр.; в том числе кратко – актуальность и научная новизна*)

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-коммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

В последние годы, в связи с ростом энергетической мощности большинства устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетике, оптоэлектроники, созданием центров обработки данных, развитием современных телекоммуникационных систем и т.д., разработкой и созданием систем хранения и обработки информации, а также систем хранения электрической энергии (в частности, литий-ионных и других батарей), все важнее и критичнее становится проблема термостабилизации и отвода избыточного тепла от указанных устройств. Последние события, связанные с возгоранием и взрывами систем хранения энергии в литий-ионных аккумуляторах (компания Tesla, www.tesla.com и Samsung Electronics, www.samsung.com), проблемы возникновения «тепловой стены» в законе Мура за счет невозможности отвода тепла от горячих точек наноразмерных компонент электроники и оптоэлектроники (www.electronics-cooling.com; prof. E. Pop, Department of Electrical Engineering, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>; prof. K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>; prof. Tim Fisher, Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com> et. al), проблемы охлаждения антенных устройств в ограниченных пространствах их конструктивных решений, невозможность эффективного охлаждения сверхъярких светодиодных блоков и т.д. делают проблемы теплоотвода и термостабилизации одними из важнейших проблем современной, а тем более, будущей перспективной энергетике, микро- и нанoeлектроники и оптоэлектроники. Помимо этого, наличия в окружающей среде огромного количества избыточного тепла, проблема изменения климата, ставят задачи возможной конверсии (преобразования) такого избыточного («бросового») тепла в электрическую энергию. Все указанные проблемы связаны, как показали многочисленные исследования, с необходимостью разработки и создания функциональных энергоэффективных поверхностей для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсных материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств. Сегодня в мире насчитывается несколько

десятков научных групп и сотни компаний, которые исследуют и изучают данную проблему. Однако, имеются различные пути достижения указанных целей и большинство решений отличаются друг от друга и должны быть проверены. Несмотря на многочисленные попытки в России получить сколь-нибудь серьезные результаты в этом направлении, несмотря на многочисленные проекты в этом направлении, особых продвинутых решений не наблюдается. Совершенно понятно, что для решения поставленной проблемы необходимы новые подходы и новые исследования, связанные с разработкой и созданием нового поколения функциональных энергоэффективных поверхностей и термоинтерфейсных материалов, обладающих минимальным термическим граничным сопротивлением на границах с другими материалами. Именно огромные термосопротивления между материалами не дают возможности эффективно охлаждать и термостабилизировать современные и перспективные разрабатываемые в настоящее время устройства слаботочной и сильноточной электроники и энергетики.

Программы развития новых материалов с функциональными поверхностями для интенсификации теплообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств имеют практически все ведущие зарубежные компании, десятки зарубежных университетов и отдельных исследовательских групп. К сожалению, в России не существует ни единой концепции, ни кооперации проектов и лабораторий для решения поставленных в настоящем проекте проблем. Внимательное ознакомление с результатами исследований российских ученых и инженеров за последние 10 лет показывает, что отставание в этом направлении только нарастает. Большинство российских компаний, работающих в различных областях, в которых выпускаются продукты слаботочной и сильноточной электроники и энергетики (предприятия Росатома, Ростехнологий, Роскосмоса, Роснано и т.п.), все сильнее ощущают отсутствие отечественных продуктов для термостабилизации и охлаждения оборудования. Практически все термоинтерфейсные материалы, которые используются на этих предприятиях, производятся за рубежом. Большой опыт совместных исследований членом научной группы проекта с зарубежными университетами и компаниями (Сеульский национальный университет науки и технологий, Стэнфордский университет, Венский технический университет, Samsung Electronics, Intel и другие) показывает, что по некоторым позициям возможно опережающее развитие и получение новых видов продуктов мирового уровня.

Обзоры современного состояния указанных выше проблем имеются в: Cho J. and Goodson K.E. 2015. Thermal Transport: Cool Electronics. *Nature Materials*, Vol. 14, pp. 136-137; Won Y., Cho J., Agonafer D., Asheghi M., Goodson K. 2015. Fundamental Cooling Limits for High Power Density GaN Electronics. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 5, pp. 737-744; A.L. Moore, L. Shi, Emerging challenges and materials for thermal management of electronics, *Mater. Today*. 17(4). 2014. 163–174; А.С. Дмитриев. Тепловые процессы в наноструктурах. М. МЭИ. 2012. 302 стр.; А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики и наноэлектроники. 10 Международная конференция «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», 17-23 сентября 2012, Алушта; А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики: новые рабочие тела и компоненты. «Повышение эффективности энергетического оборудования - 2012», 13–15 ноября 2012 г. Санкт-Петербург; А.С. Дмитриев. Введение в нанотеплофизику. Изд. БИНОМ. 2015. 792 с.; А.С. Дмитриев. Тепловая стена микро- и наноэлектроники. Портал Роснано/e-Nano. <http://edunano.ru/doc/6353921192855885264>.

Целью и задачами настоящего проекта является исследование новых функциональных энергоэффективных материалов, а также изучение их теплофизических и электрофизических свойств, процессов смачивания и растекания по поверхностям этих материалов различных потенциальных рабочих жидкостей, которые могут использоваться в широком диапазоне их состояний (от жидкого до парообразного) для снятия и теплоотвода с поверхностей избыточной тепловой мощности и их термостабилизации. В рамках данного проекта будут разработаны и созданы функциональные энергоэффективные поверхности с использованием обработки их фемтосекундными лазерными импульсами, мезоструктурные поверхности, имеющие

оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, нанокомпозиты и нанокомпаунды с полимерными матрицами и нановключениями на базе нанопроволок и нанотрубок, наночастиц, включая наноалмазы, графен и графеновые структуры. Будут также исследованы новые высокотемпературные керамические материалы на базе нитрида алюминия для включения их в схемы отвода тепла с добавлением других термоинтерфейсных материалов. Основная доля исследуемых в проекте материалов оригинальна, никогда ранее не использовалась для целей энергоэффективного охлаждения и термостабилизации. Для большинства указанных материалов, которые в рамках проекта будут разработаны и созданы, ранее не исследовались теплофизические и электрофизические, а также механические (например, на прочность сжатия и разрыва) свойства. Помимо этого, будут разработаны, созданы и исследованы некоторые новые типы термоинтерфейсных материалов, также на основе композиций тонких металлических пленок и нанопроволок, а также на основе нанотрубок и графеновых структур.

Научная новизна проекта состоит в разработке и создании новых перспективных энергоэффективных материалов, создании и освоении методик измерения механических, теплофизических и электрофизических характеристик получаемых материалов, проведении серий исследований по потенциальному технологическому использованию полученных материалов для систем охлаждения устройств энергетики и электроники, оптоэлектроники, систем телекоммуникаций. Будут также проведены исследования по свойствам смачивания и растекания рабочих жидкостей по поверхностям разработанных и созданных энергоэффективных функциональных материалов для возможного их использования в системах жидкостного и испарительного охлаждения при отводе тепла от энергонапряженных перегреваемых поверхностей энергетики и электроники. Кроме того, будут намечены шаги по разработке и созданию промышленной отечественной технологии для производства функциональных энергоэффективных поверхностей для интенсификации теплообмена и термоинтерфейсных материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств.

на английском языке

In recent years, due to increased energy capacity of most low-current and high-current power electronics and devices, optoelectronics, creation of data centers, the development of modern telecommunications systems, etc., development and creation of storage and processing systems, as well as electric storage systems energy (in particular, lithium-ion batteries and other), and all the more critical becomes more important problem of thermal stabilization and removal of excess heat from these devices.

Recent events related to the fire and explosion of energy storage in lithium-ion batteries (the company Tesla, www.tesla.com and Samsung Electronics, www.samsung.com), the problem of occurrence of «thermal wall» Moore's law due to the impossibility of removing heat from the hot spots of nanoscale electronics and optoelectronics component (www.electronics-cooling.com; prof. E. Pop, Department of Electrical Engineering, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>; prof. K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>; prof. Tim Fisher, Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com> et al), the problem of cooling the antenna devices in confined spaces, their design decisions, the inability to effectively cool superbright LED blocks, etc. make the problems of heat dissipation and thermal stabilization of one of the major problems of the modern and the more promising future energy, micro- and nanoelectronics and optoelectronics.

In addition, the presence in the environment a huge amount of excess heat, climate change, pose potential problems conversion (transform) this excess of heat into electrical energy. All of these problems are related, as shown by numerous studies, the need to develop energy-efficient and create functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices. Today, there are research groups, and hundreds of companies that explore and study the problem. However, there are various ways to achieve these objectives and

solutions differ most from each other and should be checked. Despite numerous attempts in Russia to get any serious results in this direction, in spite of numerous projects in this direction, special advanced solutions is observed. It is clear that in order to solve this problem, new approaches and new research related to the development and creation of a new generation of functional surfaces and energy efficient thermal interface materials with minimal thermal boundary resistance at the borders with other materials. This huge thermal resistance between the materials make it impossible to effectively cool and heat stabilized current and future being developed low-current device and high-current electronics and energy. Program development of new materials with functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices have almost all the leading foreign companies, dozens of foreign universities and individual research groups. Unfortunately, in Russia there is not a single concept or collaboration projects and laboratories for solving the problems in this draft. A close acquaintance with the results of the last 10 years of Russian scientists and engineers research shows that the backlog in this area is only growing. Most Russian companies working in various fields in which the products are produced low-current and high-current electronics and energy (Rosatom, Rostechnology, Roscosmos, Rosnano, etc.), more and more feel the absence of domestic products for thermal and cooling equipment. Virtually all thermal interface materials that are used in these enterprises, are produced abroad. Extensive experience of collaborative research project members of the scientific group with foreign universities and companies (Seoul National University of Science and Technology, Stanford University, Vienna University of Technology, Samsung Electronics, Intel and others) shows that for some items might advanced development and acquisition of new types of global products level.

Reviews of the current state of the problems mentioned above are available in: Cho J. and Goodson K.E. 2015. Thermal Transport: Cool Electronics. *Nature Materials*, Vol. 14, pp. 136-137; Won Y., Cho J., Agonafer D., Asheghi M., Goodson K. 2015. Fundamental Cooling Limits for High Power Density GaN Electronics. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 5, pp. 737-744; A.L. Moore, L. Shi, Emerging challenges and materials for thermal management of electronics, *Mater. Today*. 17 (4). 2014. 163-174; A.S. Dmitriev. Thermal processes in nanostructures. *M. MPEI*. 2012. 302 p.; A.S. Dmitriev. Thermal problems nanoenergy and nanoelectronics. 10 International Conference «Actual problems of thermal physics and physical hydrodynamics», 17-23 September 2012, Alushta; A.S. Dmitriev. Thermal problems nanoenergy: new working body and components. «Improving the efficiency of power equipment – 2012», November 13-15, 2012, St. Petersburg; A.S. Dmitriev. Introduction to nanothermophysics. Ed. BINOM. 2015. 792 p.; A.S. Dmitriev. Thermal wall of micro- and nanoelectronics. *Rosnano portal / e-Nano*. <http://edunano.ru/doc/6353921192855885264>.

The purpose and objectives of this project is to study new functional energy-efficient materials, as well as the study of their thermal and electrical properties, wetting processes and spreading over the surfaces of these materials of different potential working fluids that can be used in a wide range of state (from liquid to vapor) removal and heat from the surfaces of the excess heat capacity and thermal stabilization. The project will be designed and developed functional energy-efficient surface using their processing by femtosecond laser pulses, mesostructural surface with original components in the form of different diameters monodisperse microspheres, nanocomposites and nanocompounds with polymer matrices and nanoinclusions based on nanowires and nanotubes, nanoparticles, including nanodiamonds, graphene and graphene structure. New high-temperature ceramic materials based on aluminum nitride for inclusion in heat removal schemes will also be studied with the addition of other thermal interface materials. The main share in the project studied original material never before used for the purpose of energy-efficient cooling and temperature stabilization. For most of these materials are within the project will be developed and created previously investigated thermal and electrical as well as mechanical (e.g., compression strength and break) properties. In addition, to be developed, designed and studied some new types of thermal interface materials, also based on the compositions of thin metal films and nanowires and nanotubes, and based on the graphene structure.

The scientific novelty of the project is to develop and establish new promising energy-efficient

materials, creation and development of methods to measure mechanical, thermal and electrical characteristics of the resulting materials, carrying out a series of studies on the potential use of technology obtained materials for cooling systems and power electronics devices, optoelectronics, telecommunications systems. There will be also carried out research on the properties of wetting and spreading of liquids on surfaces workers designed and built energy efficient functional materials for possible use in liquid and evaporative cooling systems with dissipation of heat from the superheated energy-intensive energy surfaces and electronics. In addition, steps will be outlined on the design and development of domestic industrial technology to energy efficient production of functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices.

1.5. Ожидаемые результаты и их значимость (указываются ожидаемые результаты и их научная и общественная значимость (оценка соответствия запланированных результатов мировому уровню исследований, возможность практического использования запланированных результатов проекта в экономике и социальной сфере))

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-коммуникационной сети «Интернет» на русском языке

В результате выполнения проекта предполагается:

- сформировать основные концепции разработки и создания новых функциональных энергоэффективных материалов, в том числе материалов, доступных для импортозамещения за счет оригинальности разработок самих материалов;
- разработать и создать функциональные энергоэффективные поверхности с использованием обработки их фемтосекундными лазерными импульсами, мезоструктурные поверхности, имеющие оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, нанокомпозиты и нанокомпаунды с полимерными матрицами и нановключениями на базе нанопроволок и нанотрубок, наночастиц, включая нанодиамазы, графен и графеновые структуры; часть образцов материалов будут отвечать самым передовым достижениям современных фундаментальных и прикладных исследований и разработок, другие будут полностью оригинальными и никогда ранее не исследованными (в частности, обработанные фемтосекундными лазерными импульсами, а также на основе монодисперсных микросфер и полученными на базе графеновых «хлопьев» в полимерной матрице и нанодиамазных композиций в полимерной матрице); комплексные исследования подобных структур в российских исследованиях представлены весьма слабо, а в зарубежных изучены только для весьма небольшого числа материалов;
- впервые исследовать теплофизические и электрофизические свойства полученных материалов, получить температурные зависимости теплопроводности полученных материалов, зависимости от концентрации нанокомпонент и от размеров нанокомпонент;
- впервые изучить процессов смачивания и растекания по функциональным энергоэффективным поверхностям этих материалов различных потенциальных рабочих жидкостей, которые могут использоваться в широком диапазоне их состояний (от жидкого до парообразного) для снятия и теплоотвода с поверхностей избыточной тепловой мощности и их термостабилизации;
- впервые в мире исследовать взаимодействие капель наножидкостей с образцами полученных функциональных поверхностей, изучить скорости испарения и кипения капель наножидкости на подобных поверхностях с целью получения высокоэффективных систем охлаждения сильно перегретых поверхностей и «горячих точек» в микро- и нанoeлектронике, оптоэлектронике, элементах энергетического оборудования;
- впервые исследовать новые высокотемпературные керамические материалы для подложек в микро- и нанoeлектронике и оптоэлектронике (керамика НТСС РСВ) на базе нитрида алюминия

для включения их в схемы отвода тепла с добавлением других термоинтерфейсных материалов;

- впервые исследовать механические и термодиффузионные свойства образцов указанных выше материалов с целью изучения их возможного применения совместно с подложками из других материалов и создания сложных термоинтерфейсных материалов;

Основная доля исследуемых в проекте материалов оригинальна, никогда ранее не использовалась для целей энергоэффективного охлаждения и термостабилизации. Для большинства указанных материалов, которые в рамках проекта будут разработаны и созданы, ранее не исследовались теплофизические и электрофизические, а также механические (например, на прочность сжатия и разрыва) свойства. Помимо этого, будут разработаны, созданы и исследованы некоторые новые типы термоинтерфейсных материалов, также на основе композиций тонких металлических пленок и нанопроволок, а также на основе нанотрубок и графеновых структур. Все указанные направления исследований полностью оригинальны и отвечают самым передовым направлениям разработки и создания перспективных функциональных материалов для повышения энергоэффективности и термостабилизации устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики.

на английском языке

As a result, the project is supposed to:

- to form the basic concept of the development of new functional energy-efficient materials, including materials that are available for import by the originality of the materials development;
 - to design and create functional energy-efficient surface using their processing by femtosecond laser pulses, mesostructural surface with original components in the form of monodisperse microspheres of different diameters, nanocomposites and nanocompounds with polymer matrices and nano-inclusions based on nanowires and nanotubes, nanoparticles, including nanodiamonds, graphene and graphene structures; of the samples of materials will meet the most advanced achievements of modern fundamental and applied research and development, while others are completely original and never been studied (in particular processed by femtosecond laser pulses, as well as on the basis of monodisperse microspheres and received on the basis of graphene "flakes" in a polymer nanodiamond matrix and the polymer matrix compositions); comprehensive studies of similar structures in Russian studies presented very poorly, and studied abroad for only a very small number of materials;
 - for the first time to investigate the thermal and electrical properties of the materials to obtain the temperature dependence of the thermal conductivity of obtained materials, depending on the concentration of nanocomponents and the size of the nanocomponents;
 - the first time to study the wetting and spreading processes for energy efficient functional surfaces of these materials of different potential working fluids that may be used in a wide range of states (from liquid to vapor) and heat to remove excess heat from the surfaces of the power and heat setting;
 - for the first time in the world to explore the interaction of droplets of nanofluids with samples obtained functional surfaces to study the evaporation rate and the boiling nanofluids drops on these surfaces in order to obtain high-performance cooling systems greatly overheated surfaces and "hot spots" in the micro- and nanoelectronics, optoelectronics, power equipment elements;
 - for the first time to explore new high-temperature ceramic materials for substrates in micro- and nanoelectronics and optoelectronics (ceramic HTCC PCB) on the basis of aluminum nitride for inclusion in the scheme of heat removal with the addition of other thermal interface materials;
 - for the first time to investigate the mechanical properties of the samples and properties of thermal deformation the above materials to study their possible use in conjunction with substrates of other materials and create sophisticated thermal interface materials;
- The main share in the project studied original material never before used for the purpose of energy-efficient cooling and temperature stabilization. For most of these materials are within the project will be developed and created previously investigated thermal and electrical as well as mechanical (e.g.,

compression strength and break) properties. In addition, to be developed, designed and studied some new types of thermal interface materials, also based on the compositions of thin metal films and nanowires and nanotubes, and based on the graphene structure. All of these lines of research is completely original and meet the most advanced areas of design and development of advanced functional materials for energy efficiency and low-current thermal stabilization device and high-current electronics and energy.

1.6. В состав научного коллектива будут входить:

Несоответствие состава научного коллектива (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 12 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

4 исполнителя проекта (включая руководителя),

Вне зависимости от того, в трудовых или гражданско-правовых отношениях исполнители состоят с организацией.

В том числе:

3 исполнителя в возрасте до 39 лет,

из них:

2 очных аспирантов, адъюнктов, интернов, ординаторов, студентов.

1.7. Планируемый состав научного коллектива с указанием фамилий, имен, отчеств (при наличии) членов коллектива, их возраста на момент подачи заявки, ученых степеней, должностей и основных мест работы, формы отношений с организацией (трудовой договор, гражданско-правовой договор) в период реализации проекта

Дмитриев Александр Сергеевич, 1951 г.р., д.т.н., проф., заведующий кафедрой НИУ «МЭИ», (на период реализации проекта будет заключен договор)

Дмитриев Александр Андреевич, 1991 г.р., уч.ст. - нет, аспирант НИУ «МЭИ», (на период реализации проекта будет заключен договор)

Макаров Петр Георгиевич, 1990 г.р., уч.ст. - нет, аспирант НИУ «МЭИ», (на период реализации проекта будет заключен договор)

Струлева Евгения Вячеславовна, 1989 г.р., уч.ст. - нет, научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), (на период реализации проекта будет заключен договор).

1.8. Планируемый объем финансирования проекта по годам:

Несоответствие планируемого объема финансирования проекта (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 10 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

2017 г. – 4200 тыс. рублей,

2018 г. – 4500 тыс. рублей,

2019 г. – 4500 тыс. рублей.

1.9. Научный коллектив по результатам проекта в ходе его реализации предполагает опубликовать в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях не менее

Приводятся данные за весь период выполнения проекта. Уменьшение количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) по сравнению с порогом, установленным в п. 16.2 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

18 публикаций,

из них:

8 в изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science) или «Скопус» (Scopus);

10 в изданиях, учитываемых РИНЦ,

1 монография.

1.10. Число публикаций членов научного коллектива, опубликованных в период с 1 января 2012 года до даты подачи заявки,

74, из них:

11 – опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science или в Scopus.

1.11. Планируемое участие научного коллектива в международных коллаборациях (проектах) (при наличии).

-

Руководитель проекта подтверждает, что

- все члены научного коллектива (в том числе руководитель проекта) удовлетворяют пунктам 6, 7, 13 конкурсной документации;
- на весь период реализации проекта он будет состоять в трудовых отношениях с организацией;
- при обнародовании результатов любой научной работы, выполненной в рамках поддержанного Фондом проекта, он и его научный коллектив будут указывать на получение финансовой поддержки от Фонда и организацию, а также согласны с опубликованием Фондом аннотации и ожидаемых результатов поддержанного проекта, соответствующих отчетов о выполнении проекта, в том числе в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»;
- помимо гранта Фонда проект не будет иметь других источников финансирования в течение всего периода практической реализации проекта с использованием гранта Фонда;
- проект не является аналогичным по содержанию проекту, одновременно поданному на конкурсы научных фондов и иных организаций;
- проект не содержит сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством Российской Федерации иной информации ограниченного доступа;
- доля членов научного коллектива в возрасте до 39 лет включительно в общей численности членов научного коллектива будет составлять не менее 50 процентов в течении всего периода практической реализации проекта;
- он будет представлять ежегодный отчет о выполнении проекта.

Подпись руководителя проекта _____ /А.С.Дмитриев/

Сведения о руководителе

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Дмитриев Александр Сергеевич

на английском языке фамилия и инициалы

Dmitriev A.

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

21.08.1951

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

Доктор технических наук, 2000

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии), участие в оргкомитетах или программных комитетах известных международных конференций, иной опыт организации международных мероприятий

Государственная Премия РФ в области науки и техники, 1993г. Премия Правительства РФ в области науки и техники, 2001г. член Американского физического общества член редколлегий EPJ и Nano Res. лауреат Премии компании Samsung Electronics в области принтерных технологий и оптоэлектроники (2005г.)

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное название организации)

Руководитель проекта может на момент подачи заявки не являться сотрудником организации, но, в случае победы в конкурсе, должен заключить с ней трудовой договор.

заведующий кафедрой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ")

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

на русском языке

гидродинамика, теплофизика, монодисперсные системы, нанотехнологии, наноматериалы

на английском языке

hydrodynamics, thermal physics, monodisperse systems, nanotechnology, nanomaterials

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

09-704 09-406 09-201 09-105

2.9. Перечень публикаций руководителя проекта, опубликованных в период с 1 января 2012 года до даты подачи заявки, подтверждающий выполнение условия пункта 9 конкурсной документации

Достаточно привести ссылки на публикации в количестве, равном установленному в конкурсной документации порогу. Несоответствие количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы), приводимое в перечне и/или численно в строке ниже, требованиям пункта 9 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

на английском языке

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

1. А.С. Дмитриев, П.Г.Макаров, М. Эльбуз. О новом режиме пузырькового кипения в

мезоструктурах микросфер (эффект прыгающих пузырей). Письма в Журнал технической физики, т.41, вып.6, с.67-72, 2015

A.S. Dmitriev, P.G.Makarov, M. Elbuz. A new mode of nucleate boiling in the mesostructure microspheres (jumping boiling effect). Technical Physics Letters, v.41, #.6, pp.67-72, 2015 (перевод)

2. А.С. Дмитриев, П.Г.Макаров. Об испарении жидкости из капель коллоидных растворов наночастиц SiO₂ и Fe₂O₃. Коллоидный журнал, № 2, 2015, с.144-151.

A.S. Dmitriev, P.G.Makarov. On evaporation of the liquid from the drops of colloidal solutions of nanoparticles of SiO₂ and Fe₂O₃. Colloid Journal, № 2, 2015, pp.144-151, impact factor - 0.782. (перевод).

3. С.А. Ромашевский, С.И. Ашитков, А.С. Дмитриев. Формирование упорядоченных нано и мезоструктур в кремнии при однократном воздействии фемтосекундного лазерного импульса в различных внешних средах. Письма в Журнал технической физики, 2016, том 42, вып. 15, С.78-85, 2016.

SA Romashevskiy, SI Ashitkov, AS Dmitriev. Formation of ordered nano and mesostructure in silicon single exposure of a femtosecond laser pulse in a variety of external media. Technical Physics Letters, 2016, vol 42, no. 15 S.78-85, 2016. (перевод).

4. S. A. Romashevskiy, M. B. Agranat, A.S. Dmitriev. Thermal Training of Functional Surfaces Fabricated with Femtosecond Laser Pulses. High Temperature, 2016, Vol. 54, No. 3, pp. 461–465.

5. A.S. Dmitriev, P.G.Makarov, Optical Methods for Studying the Drying Dynamics of Fe₂O₃ Nanocolloid Droplets Depending on Variation of Substrate Temperature. International Conference on Fluid Dynamics (ICFD 2015), April, 6-7, 2015, Orlando, USA. D24. <http://www.icfd.org/>.

6. A.S. Dmitriev, P. G. Makarov. Study of dynamics of drying processes in Fe₂O₃ and SiO₂ nanocolloid droplets. 10th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Orlando, Florida, 14 - 16 July 2014.

7. A.S. Dmitriev. Fluctuation hydrodynamics, thermophoresis of nanoparticles and heat transfer in nanofluids. Proceedings of the 3th Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference March 3-6, 2012, Atlanta, Georgia, USA. MNHMT2012-75205.

Перечень содержит 7 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science, Scopus.

2.10. Основные научные результаты руководителя проекта за период с 1 января 2012 года (результаты должны подтверждаться сведениями из заявки, например - публикациями) на русском языке

- исследование режимов пузырькового кипения в мезоструктурах микросфер и обнаружение нового эффекта прыгающих пузырей (публикации [1,2] списка);
- изучение режимов испарения на мезоструктурных и наноструктурированных поверхностях (публикации [3-6] списка);
- исследование испарение капель наножидкостей на функциональных наноструктурированных и мезоповерхностях; обнаружение новых проявлений «кофе-ринг» эффекта (публикации [3-6] списка);
- исследование новых явлений испарения, кипения и теплообмена, эффекта Лейденфроста и эффективного отвода тепла на мезоскопических и наноструктурированных поверхностях; публикации [3,4] и:

А) А.С. Дмитриев, А.С. Романов. Особенности теплообмена при взаимодействии капель рабочих жидкостей с мезоскопическими и наномасштабными поверхностями энергетического оборудования. Вестник МЭИ, № 2, с.1-14, 2013, импакт-фактор – 0,16.

Б). А.С. Дмитриев. Введение в нанотеплофизику. (монография). Изд. БИНОМ. 2015. 792 с.

В). A. F. Ginevskiy, A.S. Dmitriev, M. A. El Bouz Evaporation rate from mesoscopic structures of monodispersed microspheres: experimental and computer simulations. 7th Conference of the International Marangoni Association, June 23–26, 2014, Vienna University of Technology.

- создание мезоскопических и наноструктурированных поверхностей для эффективного теплообмена с помощью фемтосекундных лазерных импульсов; публикации [7,8], а также
 - А). А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики: новые рабочие тела и компоненты. Энергетика Татарстана. № 2. 2013. С. 10-27.
 - Б) А.С. Дмитриев, А.С. Романов. Особенности теплообмена при взаимодействии капель рабочих жидкостей с мезоскопическими и наномасштабными поверхностями энергетического оборудования. Вестник МЭИ, № 2, с.1-14, 2013.
 - Г). S. A. Romashevskiy, M. B. Agranat, A.S. Dmitriev. Wetting and evaporation processes on functional silicon surfaces after direct femtosecond laser surface processing and thermal training. International Symposium "Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies" (FLAMN-16), PS1-LT-17.
- исследование процессов смачивания, растекания, испарения и кипения рабочих жидкостей на мезоскопических и наноструктурированных поверхностях, полученных с помощью фемтосекундных лазерных импульсов; публикации [7,8], а также
 - а). A.S. Dmitriev, AS Romanov. Features of heat and mass transfer in the interaction of droplets of working fluids with mesoscopic and nanoscale surfaces of power equipment. Bulletin of the MEI, № 2, s.1-14, 2013 Impact Factor - 0.16.
 - б). A.S. Dmitriev, P.G. Makarov. Optical Methods for Studying the Drying Dynamics of Fe₂O₃ Nanocolloid Droplets Depending on Variation of Substrate Temperature. Applied Mechanics and Materials (Volumes 789-790), 2015, pp. 33-37.
- исследование переноса тепла через термоинтерфейсы и взаимодействие поверхностей с наножидкостями; публикации:
 - А). A.S. Dmitriev. Fluctuation hydrodynamics, thermophoresis of nanoparticles and heat transfer in nanofluids. Proceedings of the 3th Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference March 3-6, 2012, Atlanta, Georgia, USA. MNHMT2012-75205.
 - Б). А.С. Дмитриев. Тепловые процессы в наноструктурах. М. МЭИ. 2012. 302 стр.
 - В). А.С. Дмитриев, А.А. Икрин. Об оптимизации работы термоэлектрического охладителя с использованием наноматериалов, комбинированного с микрочипом. Вестник МЭИ, 2012, № 2, с. 13-21.
 - Г). А.С. Дмитриев, А.С. Романов, Ю.В. Смирнов. Об инфракрасной микроскопии высокого разрешения для изучения переноса тепла в нанопокртыях и наноккомпозитах. XXII Международная научно-техническая конференция, школа молодых специалистов и выставка по фотоэлектронике и приборам ночного видения 22-25 мая 2012 Москва, Россия.
 - Д). А.С. Дмитриев. Теплофизические процессы в наноструктурах. «Повышение эффективности, надежности и безопасности работы энергетического оборудования ТЭС и АЭС». 4-6 апреля 2012. Изд. Дом МЭИ. 2012.
 - Е). А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики и наноэлектроники. 10 Международная конференция «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», 17-23 сентября 2012, Алушта.
 - Ж). А.С. Дмитриев, А.С. Романов. Особенности теплообмена при взаимодействии капель рабочих жидкостей с мезоскопическими и наномасштабными поверхностями энергетического оборудования. «Повышение эффективности энергетического оборудования - 2012», 13-15 ноября 2012 г. Санкт-Петербург.

на английском языке

- research nucleate boiling regimes mesostructure of microspheres and detection of new effect jumping pool boiling (publications [1,2] list);
- the study of the evaporation conditions on mesostructural and nanostructured surfaces (publications [3-6] list);
- study the evaporation of droplets of nanofluids on functional nanostructured and meso surfaces; the discovery of new "coffee ring" effect displays (publications [3-6] list);

- study of the new phenomena of evaporation, boiling, and heat and mass transfer, the Leidenfrost effect and efficient heat dissipation on mesoscopic and nanostructured surfaces; publication [3,4], and:
 - a. A.S. Dmitriev, AS Romanov. Features of heat and mass transfer in the interaction of droplets of working fluids with mesoscopic and nanoscale surfaces of power equipment. Bulletin of the MEI, № 2, s.1-14, 2013 Impact Factor - 0.16.
 - b. A.S. Dmitriev. Introduction to nanothermophysics. Ed. BINOM. 2015. 792 p.
 - c. A. F. Ginevskiy, A.S. Dmitriev, M. A. El Bouz Evaporation rate from mesoscopic structures of monodispersed microspheres: experimental and computer simulations. 7th Conference of the International Marangoni Association, June 23–26, 2014, Vienna University of Technology.
- the creation of mesoscopic and nanostructured surfaces for efficient heat transfer using femtosecond laser pulses; publication [7,8] and
 - a). AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergy new working body and components. Tatarstan Energy. Number 2. 2013. S. 10-27.
 - b). A.S. Dmitriev, AS Romanov. Features of heat and mass transfer in the interaction of droplets of working fluids with mesoscopic and nanoscale surfaces of power equipment. Bulletin of the MEI, № 2, s.1-14, 2013.
 - c). S. A. Romashevskiy, M. B. Agranat, A.S. Dmitriev. Wetting and evaporation processes on functional silicon surfaces after direct femtosecond laser surface processing and thermal training. International Symposium "Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies" (FLAMN-16), PS1-LT-17.
- the study of wetting processes of spreading, evaporation and boiling working fluids on mesoscopic and nanostructured surfaces, obtained by femtosecond laser pulses; publication [7,8] and
 - a). A.S. Dmitriev, AS Romanov. Features of heat and mass transfer in the interaction of droplets of working fluids with mesoscopic and nanoscale surfaces of power equipment. Bulletin of the MEI, № 2, s.1-14, 2013 Impact Factor - 0.16.
 - b). A.S. Dmitriev, P.G. Makarov. Optical Methods for Studying the Drying Dynamics of Fe₂O₃ Nanocolloid Droplets Depending on Variation of Substrate Temperature. Applied Mechanics and Materials (Volumes 789-790), 2015, pp. 33-37.
- the study of heat transfer through the thermal interface and interaction of surfaces with nanofluids; publication:
 - a). A.S. Dmitriev. Fluctuation hydrodynamics, thermophoresis of nanoparticles and heat transfer in nanofluids. Proceedings of the 3th Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference March 3-6, 2012, Atlanta, Georgia, USA. MNHMT2012-75205.
 - b). A.S. Dmitriev. Thermal processes in nanostructures. M. MPEI. 2012. 302 p.
 - c). A.S. Dmitriev, A.A. Ikrin. On the optimization of the thermoelectric cooler using nanomaterials, combined with a microchip. Bulletin of the MEI, 2012, № 2, p. 13-21.
 - d). AS Dmitriev, AS Romanov, Y. Smirnov. On the infrared high-resolution microscopy for studying heat transfer in nanocoating and nanocomposites. XXII International scientific-technical conference of young specialists and the school exhibition on photonics and night vision devices, 22-25 May 2012, Moscow, Russia.
 - e). AS Dmitriev. Thermal processes in nanostructures. "Improving the efficiency, reliability and safety of the TPP power equipment and nuclear power plants." April 4-6, 2012. Ed. House MPEI. 2012.
 - f). AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergetiki and nanoelectronics. 10 International Conference "Actual problems of thermal physics and physical hydrodynamics", 17-23 September 2012, Alushta.
 - g). AS Dmitriev, AS Romanov. Features of the interaction of heat and mass transfer of workers drops of liquids with mesoscopic and nanoscale surfaces of the power equipment. "Improving the efficiency of power equipment - 2012", November 13-15, 2012 in St. Petersburg.

**2.11. Общее число публикаций за период с 1 января 2012 года - 74,
из них:**

2.12. Дополнительный список публикаций руководителя проекта за последние 5 лет (монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science, Scopus, приводится не более 10 публикаций, при наличии публикации в сети Интернет указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition))

Пункт не является обязательным к заполнению. Могут приводиться публикации, свидетельствующие о научной квалификации и достижениях руководителя проекта, за исключением публикаций, указанных в п. 2.9 настоящей формы.
на английском языке

1. A.S. Dmitriev. Thermal processes in nanostructures. M. MPEI. 2012. 302 p.
2. A.S. Dmitriev, A.A. Ikrin. On the optimization of the thermoelectric cooler using nanomaterials, combined with a microchip. Bulletin of the MEI, 2012, № 2, p. 13
3. VY Naumenko, Alekseev TA, AS Dmitriev. Nanotechnology in medicine. M. MPEI. 2012. 199 p.
4. AS Dmitriev, AA Ikrin. Simulation methods of cooling optoelectronic microchip thermoelectric coolers based on nanomaterials. XXII International scientific-technical conference of young specialists and the school exhibition on photonics and night vision devices. 22-25 May 2012, Moscow, Russia.
5. AS Dmitriev, AS Romanov, Y. Smirnov. On the infrared high-resolution microscopy for studying heat transfer in nano-coating and nanocomposites XXII International scientific-technical conference of young specialists and the school exhibition on photonics and Night Vision Devices May 22-25, 2012, Moscow, Russia.
6. AS Dmitriev, AA Ikrin. Features of the calculation and optimization of thermoelectric coolers based on nanomaterials. "Improving the efficiency, reliability and safety of the TPP power equipment and nuclear power plants." April 4-6, 2012. Ed. House MEI. 2012.
7. AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergetiki and nanoelectronics. 10 International Conference "Actual problems of thermal physics and physical hydrodynamics", 17-23 September 2012, Alushta.
8. AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergetiki new working body and components. "Improving the efficiency of power equipment - 2012", November 13-15, 2012 in St. Petersburg.
9. AS Dmitriev, A.A.Zhukov et al. Microstructural spacecraft thermal control system. Patent number 2465181 dated 29 July 2010.
10. AS Dmitriev, IA Mikhailova. Physics and chemistry of nanostructures. M. Ed. House MPEI. 2013. 238 p.
11. AS Dmitriev, PG Makarov. Methods of self-assembly of 3D nano-objects and their practical applications (analysis). 19th Int. nauchn.-tehn. Conf. undergraduate and graduate students. Radio engineering, electronics and energy. M. Ed. House MEI. 2013.
12. AS Dmitriev, AS Romanov. The phenomenon of suppression of the Leidenfrost effect on substrates of coated microspheres. 19th Int. nauchn.-tehn. Conf. undergraduate and graduate students. Radio engineering, electronics and energy. M. Ed. House MEI. 2013.
13. AS Dmitriev, SA Romaszewski. Generation of hard X-ray radiation by means of femtosecond laser pulses. 19th Int. nauchn.-tehn. Conf. undergraduate and graduate students. Radio engineering, electronics and energy. M. Ed. House MEI. 2013.
14. AS Dmitriev, VV Strechenyuk Modeling of the optical properties of the array of microstructures formed on a silicon substrate. 19th Int. nauchn.-tehn. Conf. undergraduate and graduate students. Radio engineering, electronics and energy. M. Ed. House MEI. 2013.
15. D.V.Vorobev, AS Dmitriev, AN Kulikov, PG Makarov, VV Strechenyuk. Optical methods for studying the dynamics of movement Fe₂O₃ nanoparticle solution. XXII International scientific-technical conference "Optical methods of research streams", June 25-28, 2013. Moscow, NIU "MEI".
16. D.V.Vorobev, AS Dmitriev, AN Kulikov, PG Makarov, VV Strechenyuk. Apparatus for measuring the angle of the spectral reflection and transmission coefficients. XXII International scientific-technical

- conference "Optical methods of research streams", June 25-28, 2013. Moscow, NIU "MEI".
17. AS Dmitriev, AS Romanov. Optical and infrared methods of studying maps regimes in the Leidenfrost effect. XXII International scientific-technical conference "Optical methods of research streams", June 25-28, 2013. Moscow, NIU "MEI".
18. AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergy: new working body and components. Tatarstan Energy. Number 2. 2013. S. 10-27.
19. AS Dmitriev. Thermal Physics in nanoenergetike: Status and Prospects. Proceedings of the VIII All-Russian seminar on universities Thermal Physics and Energy, 12-14 November 2013., Ekaterinburg, Ural Federal University.
20. AS Dmitriev, El Buz Mustafa Ali, A.S.Romanov. Features of heat and mass transfer during evaporation and boiling of limited amounts of liquids on mesoscopic surfaces. Proceedings of the VIII All-Russian seminar on universities Thermal Physics and Energy, 12-14 November 2013., Ekaterinburg, Ural Federal University.
21. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров, М.А. Эльбуз. Особенности кипения жидкостей, содержащих монодисперсные микросферы, в режиме «прыгающих пузырей». III Международная конференция с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур». 10-12 декабря 2013г. МАМИ. М. 2014. с.14-16.
22. К.А. Богомолова, А.С. Дмитриев. Исследование краевых углов смачивания различных жидкостей для мезоскопических подложек в широком диапазоне температур. 20-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 27 - 28 февраля 2014 г., М. Изд. Дом МЭИ. 2014. С.71.
23. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров. Исследование эффекта coffee-ring, возникающего при высыхании капель наножидкостей SiO₂ и Fe₂O₃. 20-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 27 - 28 февраля 2014 г., М. Изд. Дом МЭИ. 2014. С.75.
24. А.С. Дмитриев, М.А. Эльбуз. Тепловые процессы в мезоскопических структурах с испарением. 20-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 27 - 28 февраля 2014 г., М. Изд. Дом МЭИ. 2014. С.77.
25. A.S. Dmitriev, M. A. El Bouz, P. G. Makarov. Jumping pool boiling into mesoscopic structures of monodispersed microspheres. 7th Conference of the International Marangoni Association, June 23–26, 2014, Vienna University of Technology.
26. A.S. Dmitriev, M. A. El Bouz, P. G. Makarov. Study of dynamics of drying processes in Fe₂O₃ and SiO₂ nanocolloid droplets. 7th Conference of the International Marangoni Association, June 23–26, 2014, Vienna University of Technology.
27. A.S. Dmitriev, M. A. El Bouz, P. G. Makarov. Study of dynamics of drying processes in Fe₂O₃ and SiO₂ nanocolloid droplets. 10th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Orlando, Florida, 14 - 16 July 2014.
28. А.С. Дмитриев. Методы преобразования низкопотенциального тепла на базе нанотехнологий. Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену (РНКТ-6), 27-31 октября 2014 года, Москва.
29. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров, М.А. Эльбуз. Об особенностях эффектов пузырькового кипения в мезоструктурах микросфер (эффект прыгающих пузырей). Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену (РНКТ-6), 27-31 октября 2014 года, Москва.
30. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров, О процессах тепломассообмена и образовании микроструктур в нанокolloидных системах. Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену (РНКТ-6), 27-31 октября 2014 года, Москва.
31. А.С. Дмитриев. О новом механизме теплопереноса в наножидкостях с учетом длинноволновых флуктуаций. Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену (РНКТ-6), 27-31 октября 2014 года, Москва.
32. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров, М.А. Эльбуз. О кипении жидкостей на плоских поверхностях, покрытых слоем монодисперсных металлических микросфер, в режиме «прыгающих пузырей».

Всероссийская конференция XXXI Сибирский теплофизический семинар, посвященный 100- летию со дня рождения С.С.Кутателадзе. 17-19 ноября 2014г. Новосибирск, с.180.

33. А.В. Бухаров, А.С. Дмитриев. Криогенные корпускулярные мишени в энергетике. Изд. Дом МЭИ. 2014. 236 с.
34. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров, М.А. Эльбуз. Кипение в режиме «прыгающих пузырей»: механизмы, теплообмен, гидродинамика. 21-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 26 - 27 февраля 2015 г., М. Изд. Дом МЭИ. 2015. С.365
35. А.А. Дмитриев, А.С. Дмитриев. Исследование поведения капель на вибрирующих и наклонных подложках. 21-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 26 - 27 февраля 2015 г., М. Изд. Дом МЭИ. 2015. С.359
36. А.С. Дмитриев, И.А. Лашков. Особенности смачивания и растекания капель жидкости неоднородно нагретых поверхностей. 21-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 26 - 27 февраля 2015 г., М. Изд. Дом МЭИ. 2015. С.361
37. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров. Исследование механизмов растрескивания кольцеобразного следа, остающегося после высыхания капель коллоидных растворов. 21-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 26 - 27 февраля 2015 г., М. Изд. Дом МЭИ. 2015. С.363-364
38. А.С. Дмитриев, И.С. Тереховец. Динамика капель жидкостей при взаимодействии с перегретыми поверхностями. Эффект Лейденфростаю. 21-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 26 - 27 февраля 2015 г., М. Изд. Дом МЭИ. 2015. С.366
39. П.Г. Макаров, И.А. Михайлова. О влиянии температуры подложки на высыхание капель коллоидного раствора наночастиц Fe₂O₃. Пятая Международная конференция «Теплообмен и гидродинамика в закрученных потоках», Россия, Казань, 19-22 октября 2015г.
40. А.С. Дмитриев, И.А. Лашков. Особенности смачивания и растекания каплями жидкости неоднородно нагретых поверхностей. 22-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 25 - 26 февраля 2016 г., М. Изд. Дом МЭИ. Т.3. 2016. С.80.
41. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров. Исследование высыхания массивов капель коллоидных растворов. 22-я Межд. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов. Радиотехника, электроника и энергетика. 25 - 26 февраля 2016 г., М. Изд. Дом МЭИ. Т.3. 2016. С.82
42. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров. Особенности испарения жидкости из малых капель коллоидных растворов и образования осадочных структур различной морфологии. XV Минский международный форум по тепломассообмену, Минск, 23-26 мая 2016.
43. А.С. Дмитриев, П.Г. Макаров, М.А. Эльбуз. Мезоскопический слой металлических микросфер как условие кипения жидкости в режиме «прыгающих пузырей». XV Минский международный форум по тепломассообмену, Минск, 23-26 мая 2016.
44. S. A. Romashevskiy, M. B. Agranat, A.S. Dmitriev. Wetting and evaporation processes on functional silicon surfaces after direct femtosecond laser surface processing and thermal training. International Symposium "Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies" (FLAMN-16), PS1-LT-17.

2.13. Опыт участия и/или руководства научными проектами (указываются наименования фондов (организаций), номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

Опыт работы в технологических проектах: всего участвовал более, чем в 200 технологических проектах, руководил более чем 60 российскими и международными проектами, среди которых 1.Разработка и создание космических капельных холодильников – излучателей для орбитальных комплексов и дальних космических полетов (Роскосмос РФ)

2. Разработка головок струйных принтеров нового поколения (Samsung Electronics)
3. Разработка технологии получения гранулированного ядерного топлива (Росатом)
4. Разработка монодисперсных технологий широкого профиля (Роснаука, венчурные фонды, фонд Бортника)
5. Монодисперсные технологии для получения биоактивных препаратов и витаминов (Роснаука)
6. Программа Tasic «Менеджмент в энергетике» (Европейский центр программ Tasic)
7. Образовательные программы «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике» (Роснано РФ) и т.д.

В том числе в проектах, финансируемых РНФ (при наличии)

2.14. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2017 году

Общее количество – 2,
из них: руководство – 1, участие в качестве исполнителя – 1,
а именно:

1. «Разработка научных и технологических основ создания пассивных электронных компонентов на поверхностях массивных 3D конструкций из полимерных композиционных материалов и на гибких подложках», РНФ, исполнитель
2. «Функциональные энергоэффективные поверхности для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств», РНФ, руководитель

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, РГНФ, ФГИ, РНФ, иных фондов, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.15. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на руководство данным проектом в случае победы в конкурсе Фонда

25 процентов

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.16. Предполагаемая форма трудовых отношений с организацией, через которую будет осуществляться финансирование

Организация будет являться основным местом работы: да;

Трудовой договор по совместительству: нет;

Трудовой договор о дистанционной работе: нет.

2.17. Участие в образовательной деятельности (указывается информация о руководстве аспирантами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

Чтение курсов «Оптоэлектроника и нанофотоника», «Тепловые процессы в наноструктурах», «Функциональные мезоскопические и наноматериалы», «Мезоскопическая и наногидродинамика» в Национальном исследовательском университете «МЭИ», семинары по курсу «Оптоэлектроника и нанофотоника», аспиранты (российские и зарубежные), магистры и бакалавры
Разработка и чтение курсов «Thermal processes in nanostructures», ведение магистров и аспирантов в Сеульском национальном университете науки и технологии (приглашенный профессор), чтение курсов «Thermal processes in nanostructures» and «Functional mesoscopic and nanomaterials», ведение магистров и аспирантов в Венском техническом университете

(приглашенный профессор).

2.18. Почтовый адрес

117452 Москва, Азовская ул., д.24., корп.2, кв. 646

2.19. Контактный телефон

+7 9166542313

2.20. Электронный адрес (E-mail)

asdmiriev@mail.ru

2.21. Участие в проекте

Руководитель проекта

2.22. Файлы с дополнительной информацией (резюме, другая дополнительная информация, которая, по мнению руководителя проекта, может быть полезна для принятия решения о целесообразности финансирования данного проекта)

В формате pdf, до 3 Мб

на русском языке Файл, скачать

на английском языке

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 6 и 7 конкурсной документации) ознакомлен и согласен. Подтверждаю свое участие в проекте.

Даю свое согласие на обработку (включающую сбор, систематизацию, накопление, хранение, уточнение, использование, уничтожение) представленных мною выше персональных данных Российским научным фондом (адрес: 109240, г. Москва, ул. Солянка, д. 14, стр. 3) с целью проведения экспертизы заявки и подготовки аналитических материалов по конкурсам на срок до ликвидации оператора (Фонд). Данное согласие может быть отозвано мною в письменной форме. Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.07.2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Удостоверяющий документ

(вид, номер, дата выдачи, выдавший орган, заполняется от руки)

Подпись руководителя проекта _____ /А.С. Дмитриев/

Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Дмитриев Александр Андреевич

на английском языке фамилия и инициалы

Dmitriev A.A.

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

15.09.1991

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии)

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное название организации)

аспирант, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ")

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

на русском языке

гидродинамика, теплофизика, нанотехнологии, наноматериалы, нанопокртия

на английском языке

hydrodynamics, thermal physics, nanotechnology, nanomaterials, nanocoating,

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

03-601 09-201

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2012 года - 0, из них:

0 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science или Scopus.

2.10. Список публикаций основного исполнителя проекта за последние 5 лет (монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science, Scopus, приводится не более 10 публикаций, при наличии публикации в сети Интернет указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition))

на английском языке

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

2.11. Опыт руководства научными проектами и участия в них (указываются наименования фондов (организаций), номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

2.12. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2017 году

Общее количество – 1,
из них: руководство – 0, участие в качестве исполнителя – 1,
а именно:

«Функциональные энергоэффективные поверхности для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств», РФФ, исполнитель

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, РФНФ, ФТИ, РФФ, иных фондов, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.13. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на участие в данном проекте в случае победы в конкурсе Фонда

25 процентов

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.14. Участие в образовательной деятельности (указывается информация о руководстве аспирантами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

Проведение семинаров по курсу "нанопотоника оптоэлектроника".

2.15. В 2015 или в 2016 годах участвовал в качестве руководителя проекта, финансируемого Фондом (руководителя направления комплексной научной программы организации) или исполнителя проекта, финансируемого Фондом в следующих проектах (при наличии):

2.16. Контактный телефон, электронный адрес (E-mail)

+79651974425, actinium0227@gmail.com

2.17. Участие в проекте

Основной исполнитель проекта

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 6 и 7 конкурсной документации) ознакомлен и согласен. Подтверждаю свое участие в проекте.

Даю свое согласие на обработку (включающую сбор, систематизацию, накопление, хранение, уточнение, использование, уничтожение) представленных мною выше персональных данных Российским научным фондом (адрес: 109240, г. Москва, ул. Солянка, д. 14, стр. 3) с целью проведения экспертизы заявки и подготовки аналитических материалов по конкурсам на срок до ликвидации оператора (Фонд). Данное согласие может быть отозвано мною в письменной форме. Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.07.2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Удостоверяющий документ

(вид, номер, дата выдачи, выдавший орган, заполняется от руки)

Подпись исполнителя проекта _____/АА Дмитриев/

Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Струлева Евгения Вячеславовна

на английском языке фамилия и инициалы

Struleva E.

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

17.01.1989

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии)

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное название организации)

научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

на русском языке

фемтосекундный лазерный импульс, абляция, наноструктуры

на английском языке

femtosecond laser pulse, ablation, nanostructures

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

02-204 02-303 02-206 02-208

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2012 года - 8, из них:

6 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science или Scopus.

2.10. Список публикаций основного исполнителя проекта за последние 5 лет (монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science, Scopus, приводится не более 10 публикаций, при наличии публикации в сети Интернет указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition))

на английском языке

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

1. DEFORMATION DYNAMICS AND SPALLATION STRENGTH OF ALUMINIUM UNDER A SINGLE-PULSE ACTION OF A FEMTOSECOND LASER

Ashitkov S.I., Komarov P.S., Ovchinnikov A.V., Struleva E.V., Agranat M.B.

Quantum Electronics. 2013. V. 43. № 3. P. 242-245. DOI: 10.1070/QE2013v043n03ABEH015104, IF 0.978

2. ABLATION AND NANOSTRUCTURING OF METALS BY FEMTOSECOND LASER PULSES

Ashitkov S.I., Komarov P.S., Ovchinnikov A.V., Struleva E.V., Agranat M.B., Zhakhovskii V.V., Inogamov N.A. Quantum Electronics. 2014. V. 44. № 6. P. 535-539. DOI: 10.1070/QE2014v044n06ABEH015448, IF 0.978

3. DYNAMICS OF RADIATION EMITTED BY METALS EXPOSED TO FEMTOSECOND LASER PULSES

Ashitkov S.I., Komarov P.S., Struleva E.V., Yurkevich A.A., Agranat M.B. High Temperature. 2015. V.53, 6 P: 887-890 DOI: 10.1134/S0018151X15060012, IF 1.048

4. MECHANICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF VANADIUM UNDER SHOCK PICOSECOND LOADS

Ashitkov S.I., Komarov P.S., Struleva E.V., Agranat M.B., Kanel G.I. Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters (JETP Letters). 2015. V. 101. № 4. P. 276-281. DOI: 10.1134/S0021364015040049, IF 1.172

5. THE BEHAVIOR OF TANTALUM UNDER ULTRASHORT LOADS INDUCED BY FEMTOSECOND LASER

Ashitkov S.I., Komarov P.S., Struleva E.V., Agranat M.B., Kanel G.I., Khishchenko K.V. Journal of Physics: Conference Series. 2015. V. 653. № 1. P. 012001. DOI: 10.1088/1742-6596/653/1/012001

6. STRENGTH OF LIQUID TIN AT EXTREMELY HIGH STRAIN RATES UNDER A FEMTOSECOND LASER ACTION

Ashitkov S.I., Komarov P.S., Ovchinnikov A.V., Struleva E.V., Agranat M.B. Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters (JETP Letters). 2016. V. 103. № 8. P. 544-548. DOI: 10.1134/S0021364016080038, IF 1.172

2.11. Опыт руководства научными проектами и участия в них (указываются наименования фондов (организаций), номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

2.12. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2017 году

Общее количество – 1,
из них: руководство – 0, участие в качестве исполнителя – 1,
а именно:

Функциональные энергоэффективные поверхности для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, РГНФ, ФГИ, РНФ, иных фондов, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.13. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на участие в данном проекте в случае победы в конкурсе Фонда

25 процентов

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.14. Участие в образовательной деятельности (указывается информация о руководстве аспирантами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

2.15. В 2015 или в 2016 годах участвовал в качестве руководителя проекта, финансируемого Фондом (руководителя направления комплексной научной программы организации) или исполнителя проекта, финансируемого Фондом в следующих проектах

(при наличии):

2.16. Контактный телефон, электронный адрес (E-mail)

+7 4952294240, struleva.evgenia@yandex.ru

2.17. Участие в проекте

Основной исполнитель проекта

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 6 и 7 конкурсной документации) ознакомлен и согласен. Подтверждаю свое участие в проекте.

Даю свое согласие на обработку (включающую сбор, систематизацию, накопление, хранение, уточнение, использование, уничтожение) представленных мною выше персональных данных Российским научным фондом (адрес: 109240, г. Москва, ул. Солянка, д. 14, стр. 3) с целью проведения экспертизы заявки и подготовки аналитических материалов по конкурсам на срок до ликвидации оператора (Фонд). Данное согласие может быть отозвано мною в письменной форме. Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.07.2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Удостоверяющий документ

(вид, номер, дата выдачи, выдавший орган, заполняется от руки)

Подпись исполнителя проекта _____/Е.В. Струлева/

Сведения об основном исполнителе проекта

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Макаров Петр Георгиевич

на английском языке фамилия и инициалы

Makarov P.G.

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

08.02.1990

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии)

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное название организации)

аспирант, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ")

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

на русском языке

Нанопокрyтия, смачиваемость и растекание, теплофизические процессы в жидких пленках и каплях

на английском языке

Nanocoating, wetting and spreading, thermal processes in liquid films and droplets

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

09-201

2.9. Общее число публикаций за период с 1 января 2012 года - 9,

из них:

3 - опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science или Scopus.

2.10. Список публикаций основного исполнителя проекта за последние 5 лет (монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science, Scopus, приводится не более 10 публикаций, при наличии публикации в сети Интернет указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition))

на английском языке

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

1. A.S. Dmitriev, P.G. Makarov. Optical Methods for Studying the Drying Dynamics of Fe₂O₃ Nanocolloid Droplets Depending on Variation of Substrate Temperature. Applied Mechanics and Materials (Volumes 789-790), 2015, pp. 33-37. импакт-фактор – 0,88.

2. A.S. Dmitriev, P.G. Makarov, M. Elbuz. Study of nucleate boiling in the mesostructure microspheres

- (mode "jump" bubbles). Natural and technical sciences, № 1 (79), 2015, pp 12-15, impact factor - 0.058.
3. A.S. Dmitriev, P.G.Makarov, M. Elbuz. A new mode of nucleate boiling in the mesostructure microspheres (bubbles bouncing effect). Letters to the Journal of Applied Physics, t.41, vyp.6, s.67-72, 2015, the impact factor of - 0.687.
4. A.S. Dmitriev, P.G.Makarov. On evaporation of the liquid from the drops of colloidal solutions of nanoparticles of SiO₂ and Fe₂O₃. Colloid Journal, № 2, 2015, s.144-151, impact factor - 0.782.
5. A.S. Dmitriev, P.G.Makarov. On the processes of heat and mass transfer and the formation of microstructures in nanokolloidnyh systems. Proceedings of the Sixth Russian National Conference on Heat Transfer (RNKT-6), 27-31 October 2014, Moscow.
6. A.S. Dmitriev, P.G. Makarov. Optical Methods for Studying the Drying Dynamics of Fe₂O₃ Nanocolloid Droplets Depending on Variation of Substrate Temperature. Applied Mechanics and Materials (Volumes 789-790), 2015, pp. 33-37. импакт-фактор – 0,88.

2.11. Опыт руководства научными проектами и участия в них (указываются наименования фондов (организаций), номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

2.12. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2017 году

Общее количество – 1,
из них: руководство – 0, участие в качестве исполнителя – 1,
а именно:

Функциональные энергоэффективные поверхности для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, РГНФ, ФТИ, РНФ, иных фондов, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.13. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на участие в данном проекте в случае победы в конкурсе Фонда

25 процентов

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.14. Участие в образовательной деятельности (указывается информация о руководстве аспирантами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

Чтение курсов по «Оптоэлектронике и нанофотонике» в Национальном исследовательском институте «Московский энергетический институт», лабораторные занятия и семинары по курсу «Оптоэлектроника и нанофотоника», консультация бакалавров и магистров по дипломным проектам

2.15. В 2015 или в 2016 годах участвовал в качестве руководителя проекта, финансируемого Фондом (руководителя направления комплексной научной программы организации) или исполнителя проекта, финансируемого Фондом в следующих проектах (при наличии):

2.16. Контактный телефон, электронный адрес (E-mail)

+79295861955, sketch1990@gmail.com

2.17. Участие в проекте

Основной исполнитель проекта

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 6 и 7 конкурсной документации) ознакомлен и согласен. Подтверждаю свое участие в проекте.

Даю свое согласие на обработку (включающую сбор, систематизацию, накопление, хранение, уточнение, использование, уничтожение) представленных мною выше персональных данных Российским научным фондом (адрес: 109240, г. Москва, ул. Солянка, д. 14, стр. 3) с целью проведения экспертизы заявки и подготовки аналитических материалов по конкурсам на срок до ликвидации оператора (Фонд). Данное согласие может быть отозвано мною в письменной форме. Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.07.2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Удостоверяющий документ

(вид, номер, дата выдачи, выдавший орган, заполняется от руки)

Подпись исполнителя проекта _____/П.Г. Макаров/

Форма 3. Сведения об организации

собираются автоматически на основе регистрационных данных организации, через которую будет осуществляться финансирование ("Форма Т")

3.1. Полное наименование (приводится в соответствии с регистрационными документами)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ"

3.2. Сокращенное наименование

ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ"

3.3. Наименование на английском языке

National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

3.4. Организационно-правовая форма (указывается по ОКОПФ)

Федеральные государственные бюджетные учреждения

3.5. Форма собственности (указывается по ОКФС)

Федеральная собственность

3.6. Ведомственная принадлежность

Министерство образования и науки РФ

3.7. ИНН, КПП

7722019652, 772201001

3.8. Адрес

111250, г. Москва Красноказарменная ул. д. 14

3.9. Фактический адрес

111250, г. Москва Красноказарменная ул. д. 14

3.10. Субъект Российской Федерации

г Москва

3.11. Должность, фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя организации

ректор, Рогалев Николай Дмитриевич

3.12. Контактный телефон

+74953627001

3.13. Электронный адрес (E-mail)

ntpg@mpei.ru

Руководитель организации подтверждает, что:

- ознакомлен с условиями конкурса Фонда и согласен на финансирование проекта, в случае его поддержки, через организацию;
- согласен с пунктами 8, 14, 33 конкурсной документации, иными условиями конкурса;
- организация исполняет обязательства по уплате налогов в бюджеты всех уровней и обязательных платежей в государственные внебюджетные фонды, платежеспособна, не находится в процессе ликвидации или реорганизации, не признана несостоятельной (банкротом), на ее имущество не наложен арест и ее экономическая деятельность не приостановлена;
- в случае признания заявки победителем организация берет на себя следующие обязательства:
 - заключить с членами научного коллектива гражданско-правовые или трудовые (срочные трудовые) договоры;
Если таковые не заключены ранее.
 - по поручению руководителя научного коллектива выплачивать членам научного

- коллектива вознаграждение за выполнение работ по проекту;
- о ежегодно представлять отчет о целевом использовании гранта Российского научного фонда.

Руководитель организации гарантирует:

- что общий размер ежегодного вознаграждения члена научного коллектива не будет превышать 30 процентов от суммы ежегодного вознаграждения всем членам научного коллектива;
Включая установленные законодательством Российской Федерации гарантии, отчисления по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование, на обязательное медицинское страхование, на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.
- что общий размер ежегодного вознаграждения членов научного коллектива в возрасте до 39 лет включительно не будет меньше 35 процентов от суммы ежегодного вознаграждения всех членов научного коллектива;
- предоставление научному коллективу помещения, доступа к имеющейся экспериментальной базе для осуществления научного исследования.

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности), **печать организации.**

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается доверенность (копия доверенности, заверенная печатью организации).

_____/_____/_____
М.П.

Форма 4. Содержание проекта

4.1. Научная проблема, на решение которой направлен проект

на русском языке

В последние годы, в связи с ростом энергетической мощности большинства устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики, оптоэлектроники, созданием центров обработки данных, развитием современных телекоммуникационных систем и т.д., разработкой и созданием систем хранения и обработки информации, а также систем хранения электрической энергии (в частности, литий-ионных и других батарей), все важнее и критичнее становится проблема термостабилизации и отвода избыточного тепла от указанных устройств. Последние события, связанные с возгоранием и взрывами систем хранения энергии в литий-ионных аккумуляторах (компании Tesla, www.tesla.com и Samsung Electronics, www.samsung.com), проблемы возникновения «тепловой стены» в законе Мура за счет невозможности отвода тепла от горячих точек наноразмерных компонент электроники и оптоэлектроники (www.electronic-cooling.com; prof. E. Pop, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>; prof. K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>; prof. Tim Fisher, Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com> et. al), проблемы охлаждения антенных устройств в ограниченных пространствах их конструктивных решений, невозможность эффективного охлаждения сверхъярких светодиодных блоков и т.д. делают проблемы теплоотвода и термостабилизации одними из важнейших проблем современной, а тем более, будущей перспективной энергетики, микро- и наноэлектроники и оптоэлектроники. Помимо этого, наличия в окружающей среде огромного количества избыточного тепла, проблема изменения климата, ставят задачи возможной конверсии (преобразования) такого избыточного («бросового») тепла в электрическую энергию. Все указанные проблемы связаны, как показали многочисленные исследования, с необходимостью разработки и создания функциональных энергоэффективных поверхностей для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсных материалов для охлаждения электронных и энергетических устройств. Сегодня в мире насчитывается несколько десятков научных групп и сотни компаний, которые исследуют и изучают данную проблему. Однако, имеются различные пути достижения указанных целей и большинство решений отличаются друг от друга и должны быть проверены. Несмотря на многочисленные попытки в России получить сколь-нибудь серьезные результаты в этом направлении, несмотря на многочисленные проекты в этом направлении, особых продвинутых решений не наблюдается. Совершенно понятно, что для решения поставленной проблемы необходимы новые подходы и новые исследования, связанные с разработкой и созданием нового поколения функциональных энергоэффективных поверхностей и термоинтерфейсных материалов, обладающих минимальным термическим граничным сопротивлением на границах с другими материалами. Именно огромные термосопротивления между материалами не дают возможности эффективно охлаждать и термостабилизировать современные и перспективные разрабатываемые в настоящее время устройства слаботочной и сильноточной электроники и энергетики.

Программы развития новых материалов с функциональными поверхностями для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств имеют практически все ведущие зарубежные компании, десятки зарубежных университетов и отдельных исследовательских групп. К сожалению, в России не существует ни единой концепции, ни колаборации проектов и лабораторий для решения поставленных в настоящем проекте проблем. Внимательное ознакомление с результатами исследований российских ученых и инженеров за последние 10 лет показывает, что отставание в этом направлении только нарастает. Большинство российских компаний, работающих в различных областях, в которых выпускаются продукты слаботочной и сильноточной электроники

и энергетики (предприятия Росатома, Ростехнологий, Роскосмоса, Роснано и т.п.), все сильнее ощущают отсутствие отечественных продуктов для термостабилизации и охлаждения оборудования. Практически все термоинтерфейсные материалы, которые используются на этих предприятиях, производятся за рубежом. Большой опыт совместных исследований членом научной группы проекта с зарубежными университетами и компаниями (Сеульский национальный университет науки и технологий, Стэнфордский университет, Венский технический университет, Samsung Electronics, Intel и другие) показывает, что по некоторым позициям возможно опережающее развитие и получение новых видов продуктов мирового уровня.

Обзоры современного состояния указанных выше проблем имеются в: Cho J. and Goodson K.E. 2015. Thermal Transport: Cool Electronics. *Nature Materials*, Vol. 14, pp. 136-137; Won Y., Cho J., Agonafer D., Asheghi M., Goodson K. 2015. Fundamental Cooling Limits for High Power Density GaN Electronics. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 5, pp. 737-744; A.L. Moore, L. Shi, Emerging challenges and materials for thermal management of electronics, *Mater. Today*. 17(4). 2014. 163–174; А.С. Дмитриев. Тепловые процессы в наноструктурах. М. МЭИ. 2012. 302 стр.; А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики и наноэлектроники. 10 Международная конференция «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», 17-23 сентября 2012, Алушта; А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики: новые рабочие тела и компоненты. «Повышение эффективности энергетического оборудования - 2012», 13–15 ноября 2012 г. Санкт-Петербург; А.С. Дмитриев. Введение в нанотеплофизику. Изд. БИНОМ. 2015. 792 с.; А.С. Дмитриев. Тепловая стена микро- и наноэлектроники. Портал Роснано/e-Nano: edunano.ru/doc/6353921192855885264.

Целью и задачами настоящего проекта является исследования новых функциональных энергоэффективных материалов, а также изучение их теплофизических и электрофизических свойств, процессов смачивания и растекания по поверхностям этих материалов различных потенциальных рабочих жидкостей, которые могут использоваться в широком диапазоне их состояний (от жидкого до парообразного) для снятия и теплоотвода с поверхностей избыточной тепловой мощности и их термостабилизации. В рамках данного проекта будут разработаны и созданы функциональные энергоэффективные поверхности с использованием обработки их фемтосекундными лазерными импульсами, мезоструктурные поверхности, имеющие оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, нанокомпозиты и нанокомпаунды с полимерными матрицами и нановключениями на базе нанопроволок и нанотрубок, наночастиц, включая нанодиамазы, графен и графеновые структуры. Будут также исследованы новые высокотемпературные керамические материалы на базе нитрида алюминия для включения их в схемы отвода тепла с добавлением других термоинтерфейсных материалов. Основная доля исследуемых в проекте материалов оригинальна, никогда ранее не использовалась для целей энергоэффективного охлаждения и термостабилизации. Для большинства указанных материалов, которые в рамках проекта будут разработаны и созданы, ранее не исследовались теплофизические и электрофизические, а также механические (например, на прочность сжатия и разрыва) свойства. Помимо этого, будут разработаны, созданы и исследованы некоторые новые типы термоинтерфейсных материалов, также на основе композиций тонких металлических пленок и нанопроволок, а также на основе нанотрубок и графеновых структур.

Научная новизна проекта состоит в разработке и создании новых перспективных энергоэффективных материалов, создании и освоении методик измерения механических, теплофизических и электрофизических характеристик получаемых материалов, проведении серий исследований по потенциальному технологическому использованию полученных материалов для систем охлаждения устройств энергетики и электроники, оптоэлектроники, систем телекоммуникаций. Будут также проведены исследования по свойствам смачивания и растекания рабочих жидкостей по поверхностям разработанных и созданных энергоэффективных функциональных материалов для возможного их использования в системах жидкостного и

испарительного охлаждения при отводе тепла от энергонапряженных перегреваемых поверхностей энергетики и электроники. Кроме того, будут намечены шаги по разработке и созданию промышленной отечественной технологии для производства функциональных энергоэффективных поверхностей для интенсификации теплообмена и термоинтерфейсных материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств.

на английском языке

In recent years, due to increased energy capacity of most low-current and high-current power electronics and devices, optoelectronics, creation of data centers, the development of modern telecommunications systems, etc., development and creation of storage and processing systems, as well as electric storage systems energy (in particular, lithium-ion batteries and other), and all the more critical becomes more important problem of thermal stabilization and removal of excess heat from these devices.

Recent events related to the fire and explosion of energy storage in lithium-ion batteries (the company Tesla, www.tesla.com and Samsung Electronics, www.samsung.com), the problem of occurrence of «thermal wall» Moore's law due to the impossibility of removing heat from the hot spots of nanoscale electronics and optoelectronics component (www.electronics-cooling.com; prof. E. Pop, Department of Electrical Engineering, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>; prof. K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>; prof. Tim Fisher, Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com> et al), the problem of cooling the antenna devices in confined spaces, their design decisions, the inability to effectively cool superbright LED blocks, etc. make the problems of heat dissipation and thermal stabilization of one of the major problems of the modern and the more promising future energy, micro- and nanoelectronics and optoelectronics.

In addition, the presence in the environment a huge amount of excess heat, climate change, pose potential problems conversion (transform) this excess of heat into electrical energy. All of these problems are related, as shown by numerous studies, the need to develop energy-efficient and create functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices. Today, there are research groups, and hundreds of companies that explore and study the problem. However, there are various ways to achieve these objectives and solutions differ most from each other and should be checked. Despite numerous attempts in Russia to get any serious results in this direction, in spite of numerous projects in this direction, special advanced solutions is observed. It is clear that in order to solve this problem, new approaches and new research related to the development and creation of a new generation of functional surfaces and energy efficient thermal interface materials with minimal thermal boundary resistance at the borders with other materials. This huge thermal resistance between the materials make it impossible to effectively cool and heat stabilized current and future being developed low-current device and high-current electronics and energy. Program development of new materials with functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices have almost all the leading foreign companies, dozens of foreign universities and individual research groups.

Unfortunately, in Russia there is not a single concept or collaboration projects and laboratories for solving the problems in this draft. A close acquaintance with the results of the last 10 years of Russian scientists and engineers research shows that the backlog in this area is only growing. Most Russian companies working in various fields in which the products are produced low-current and high-current electronics and energy (Rosatom, Rostechnology, Roscosmos, Rosnano, etc.), more and more feel the absence of domestic products for thermal and cooling equipment. Virtually all thermal interface materials that are used in these enterprises, are produced abroad. Extensive experience of collaborative research project members of the scientific group with foreign universities and companies (Seoul National University of Science and Technology, Stanford University, Vienna University of Technology, Samsung Electronics, Intel and others) shows that for some items might advanced development and acquisition of new types of global products level.

Reviews of the current state of the problems mentioned above are available in: Cho J. and Goodson K.E. 2015. Thermal Transport: Cool Electronics. Nature Materials, Vol. 14, pp. 136-137; Won Y., Cho J., Agonafer D., Asheghi M., Goodson K. 2015. Fundamental Cooling Limits for High Power Density GaN Electronics. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 5, pp. 737-744; A.L. Moore, L. Shi, Emerging challenges and materials for thermal management of electronics, Mater. Today. 17 (4). 2014. 163-174; A.S. Dmitriev. Thermal processes in nanostructures. M. MPEI. 2012. 302 p.; A.S. Dmitriev. Thermal problems nanoenergy and nanoelectronics. 10 International Conference «Actual problems of thermal physics and physical hydrodynamics», 17-23 September 2012, Alushta; A.S. Dmitriev. Thermal problems nanoenergy: new working body and components. «Improving the efficiency of power equipment – 2012», November 13-15, 2012, St. Petersburg; A.S. Dmitriev. Introduction to nanothermophysics. Ed. BINOM. 2015. 792 p.; A.S. Dmitriev. Thermal wall of micro- and nanoelectronics. Rosnano portal / e-Nano: edunano.ru/doc/6353921192855885264.

The purpose and objectives of this project is to study new functional energy-efficient materials, as well as the study of their thermal and electrical properties, wetting processes and spreading over the surfaces of these materials of different potential working fluids that can be used in a wide range of state (from liquid to vapor) removal and heat from the surfaces of the excess heat capacity and thermal stabilization. The project will be designed and developed functional energy-efficient surface using their processing by femtosecond laser pulses, mesostructural surface with original components in the form of different diameters monodisperse microspheres, nanocomposites and nanocompounds with polymer matrices and nanoinclusions based on nanowires and nanotubes, nanoparticles, including nanodiamonds, graphene and graphene structure. New high-temperature ceramic materials based on aluminum nitride for inclusion in heat removal schemes will also be studied with the addition of other thermal interface materials. The main share in the project studied original material never before used for the purpose of energy-efficient cooling and temperature stabilization. For most of these materials are within the project will be developed and created previously investigated thermal and electrical as well as mechanical (e.g., compression strength and break) properties. In addition, to be developed, designed and studied some new types of thermal interface materials, also based on the compositions of thin metal films and nanowires and nanotubes, and based on the graphene structure.

The scientific novelty of the project is to develop and establish new promising energy-efficient materials, creation and development of methods to measure mechanical, thermal and electrical characteristics of the resulting materials, carrying out a series of studies on the potential use of technology obtained materials for cooling systems and power electronics devices, optoelectronics, telecommunications systems. There will be also carried out research on the properties of wetting and spreading of liquids on surfaces workers designed and built energy efficient functional materials for possible use in liquid and evaporative cooling systems with dissipation of heat from the superheated energy-intensive energy surfaces and electronics. In addition, steps will be outlined on the design and development of domestic industrial technology to energy efficient production of functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices.

4.2. Актуальность проблемы для данной отрасли знаний, научная значимость решения проблемы

на русском языке

В последние годы, в связи с радикальным увеличением скорости передачи и обработки данных, разработкой и строительством центров обработки данных, существенным уменьшением размеров устройств микро- и нанoeлектроники и оптоэлектроники, со значительным ростом удельного тепловыделения внутри устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики, с ростом удельной электрической энергии хранения внутри суперконденсаторов и батарей и т.п., все актуальней становится проблемам разработки и создания перспективных

технологий, материалов и компонент для термостабилизации и охлаждения указанных выше устройств и компонентов. Следует особо отметить, что плотность удельного тепловыделения в отдельных элементах электроники и оптоэлектроники уже достигла величины 200-300 кВт/м², что близко к удельному тепловыделению в ядерных реакторах и соплах жидкостных ракетных двигателей. Вместе с тем, если в последних случаях можно найти эффективные способы охлаждения (конвективное и двухфазное, испарительное канальное охлаждение или охлаждение обдувом), сильно ограниченные объемы и характерные размеры элементов и устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики не позволяют использовать такие методы или требуют радикально иных поверхностей теплообмена, функционализированных под задачи термостабилизации и охлаждения эффективных поверхностей теплообмена и новых термоинтерфейсных материалов, обладающих высокоэффективными свойствами смачивания и растекания и минимальным граничным термическим сопротивлением. При уменьшении размеров отдельных элементов электронной и оптоэлектронной базы до наномасштабов (размеры перспективных транзисторов – до 8-10 нм, размеры полупроводниковых нанолазеров – 10-12 нм), использованием в системах хранения электрической энергии наноструктур и наноматериалов для электродов, все актуальней становится задача компенсации нагрева так называемых «горячих точек» - малых по объему областей электронных и энергетических устройств с максимальным тепловыделением до 1000 кВт/м². Отвести такое количество тепла известными способами с применением известных технологий совершенно невозможно. Отсюда в последние годы в микро- и нанoeлектронике возникла так называемая проблема «тепловой стены» - невозможность «работы известного закона Мура – как основного тренда развития современной микроэлектроники («степень интеграции увеличивается четыре раза каждые три года»). Фактически перед научной общественностью и научными группами встала совершенно новая проблема – найти методы, технологии и материалы, которые бы позволили не сдерживать развитие перспективных направлений электроники, оптоэлектроники и энергетики.

Актуальность настоящего проекта состоит в разработке и создании функциональных энергоэффективных поверхностей и термоинтерфейсных материалов, обладающих минимальным термическим граничным сопротивлением на границах с другими материалами. Именно огромные термосопротивления между материалами не дают возможности эффективно охлаждать и термостабилизировать современные и перспективные разрабатываемые в настоящее время устройства слаботочной и сильноточной электроники и энергетики. Важность решения подобной проблемы связана с тем, что практически во всех областях развития перспективных электроники, оптоэлектронных и энергетических технологий проблема термостабилизации и отвода избыточного тепла стала настолько явно, что активно тормозят развития большинства из таких направлений. В связи с этим, поиски новых методов, технологий и материалов безусловно является чрезвычайно актуальной. Помимо сказано, необходимо подчеркнуть, что в России проблемами термостабилизации, поиска новых технологий и материалов, разработке и созданию новых термоинтерфейсов с минимальным граничным термосопротивлением, занимается весьма малое число научных и инженерных групп.

В последнее время были предприняты многочисленные попытки в различных компаниях и университетах (см., например, обзоры: J. Due, A. Robinson. Reliability of thermal interface materials: A review. Applied Thermal Engineering. 50. 2013. 455-463; R. Prasher. Thermal interface materials: historical perspective, status, and future directions. Proceedings of the IEEE. 94(8). 2006; A. Kumar, N. Ayyagari, T. Fisher. Effects of Graphene Nanopetal Outgrowths on Internal Thermal Interface Resistance in Composites. ACS Appl. Mater. Interfaces. 2016, 8, 6678–6684; J. Suh, R. Dillon, S. Tseng. Thermal Interface Materials Selection and Application Guidelines: In Perspective of Xilinx Virtex-5QV Thermal Management. Jet Propulsion Laboratory Pasadena, California. California Institute of Technology. Pasadena, California. JPL Publication 15-2 8/15; M. Barako, Y. Gao, Y. Won, A. Marconnet, M. Asheghi, K. Goodson. Reactive Metal Bonding of Carbon Nanotube Arrays for Thermal Interface Applications. IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, VOL. 4,

NO. 12, DECEMBER 2014. Pp.1906-1913) найти эффективные материалы для термических интерфейсов, имеющих сравнительно низкое граничное термическое сопротивление и высокую технологичность процесса производства. Были использованы различные мезоскопические и наноматериалы и компоненты внутри полимерных матриц или других диэлектриков, которые имеют высокую адгезию к материалам электронной техники, сравнительно стабильные, с хорошим коэффициентом линейного термического расширения. Однако, сегодня нет однозначного выбора материалов применительно к различным приложениям. Исследования активно продолжаются, причем крупнейшие производители индустриальной и бытовой электроники (AMD, Intel, Infineon, Samsung Electronics, Apple, Tesla, NASA, Boeing, BAE Systems и другие), вкладывая все большие средства в это направление, понимая, что без решения проблемы термостабилизации, отвода тепла и энергоэффективности, серьезный прогресс в слаботочной и сильноточной электронике и энергетике невозможен.

Более того, практически не видно за последние десять лет сколь-нибудь заметного прогресса в российских разработках этого направления. Наконец, что особо следует подчеркнуть, практически все российские электронные, оптоэлектронные и энергетические компании используют в своих разработках, компонентах и устройствах зарубежные материалы и системы термостабилизации (см., например, обзоры в А.С. Дмитриев. Введение в нанотеплофизику. Изд. БИНОМ. 2015. 792 с.; А.С. Дмитриев. Тепловая стена микро- и нанoeлектроники. Портал Роснано/e-Nano. <http://edunano.ru/doc/6353921192855885264>). В связи с этим просто срочно необходимо создать технологическую российскую платформу для решения указанных выше задач. По мнению авторов проекта, последний может стать началом такой технологической платформы, как фундаментальная и прикладная ее исследовательская база.

на английском языке

In recent years, due to the drastic increase in data transmission and processing speed, design and construction of data centers, a significant decrease in the size of micro- and nanoelectronic devices and optoelectronics, with a significant increase density power dissipation in the low-current and high-current power electronics and devices, with the growth of specific electrical energy storage in batteries and supercapacitors, etc., becomes more urgent issues of development and the development of advanced technologies, materials and components for thermal and cooling the above-mentioned devices and components. It should be noted that the density of the heat dissipation in the individual elements of electronics and optoelectronics has already reached values of 200-300 kW/m², which is close to the specific heat in nuclear reactors and the nozzles of liquid rocket engines. However, if in the latter cases, you can find effective ways of cooling (convection and two-phase, evaporative channel cooling or cooling by blowing), very limited amounts and the characteristic dimensions of the elements and low-voltage and high-current electronics and power devices do not allow the use of such methods or require radically different heat and mass transfer surfaces, functionalized by thermal stabilization objectives and effective cooling surfaces and heat and mass transfer new materials with high performance wetting and spreading properties and minimum boundary thermal resistance. When reducing the size of the individual elements of electronic and optoelectronic base to nanoscale (dimensions of transistors perspective - to 8-10 nm, the size of semiconductor nanolasers - 10-12 nm), using electrical energy storage systems of nanostructures and nanomaterials for electrodes, it becomes all the more urgent task of heating compensation the so-called "hot spots" - small in terms of area and power electronic devices with the maximum heat to 1000 kW/m². Take an amount of heat by known techniques using known techniques quite impossible. Hence, in recent years, micro- and nanoelectronics emerged so-called problem of "thermal wall" - the impossibility of "the famous Moore's law - as the main trend of development of modern microelectronics ("degree of integration is increased four times every three years"). In fact, before the scientific community and scientific groups got quite a new problem - to find methods, technologies and materials that would allow not hinder the development of promising areas of electronics,

optoelectronics and energy.

The relevance of this project is the development and creation of functional surfaces and energy efficient thermal interface materials with minimal thermal boundary resistance at the borders with other materials. This huge thermal resistance between the materials make it impossible to effectively cool and heat stabilized current and future being developed low-current device and high-current electronics and energy. The importance of this problem stems from the fact that in almost all areas of the development of promising electrons, optoelectronic and energy technology problem of thermal stabilization and removal of excess heat has become so clearly that actively inhibit the development of most of these areas. In this regard, the search for new methods, technologies and materials is definitely very important. In addition it is said, it must be stressed that in Russia the problems of thermal stabilization, the search for new technologies and materials, the design and development of new thermal interfaces with minimal boundary thermal resistance, is engaged in a very small number of scientific and engineering groups. In recent years, numerous attempts have been made in various companies and universities (see, eg, the reviews: J. Due, A. Robinson Reliability of thermal interface materials: A review Applied Thermal Engineering 50. 2013. 455-463; R. Prasher Thermal interface materials: historical perspective, status, and future directions Proceedings of the IEEE 94 (8) 2006; A. Kumar, N. Ayyagari, T. Fisher Effects of Graphene Nanopetal Outgrowths on Internal Thermal Interface Resistance in Composites ACS Appl Mater Interfaces 2016, 8, 6678-6684; J. Suh, R. Dillon, S. Tseng Thermal Interface Materials Selection and Application Guidelines in Perspective of Xilinx Virtex-5QV Thermal Management Jet Propulsion.. Laboratory Pasadena, California California Institute of Technology Pasadena, California JPL Publication 15-2 8/15; M. Barako, Y. Gao, Y. Won, A. Marconnet, M. Asheghi, K. Goodson Reactive Metal Bonding. of Carbon Nanotube Arrays for Thermal Interface Applications. IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, VOL. 4, NO. 12, DECEMBER 2014. Pp.1906-1913) find efficient thermal interface materials having relatively low thermal boundary resistance and high technology manufacturing process. and various nanomaterials and mesoscopic components within the polymer matrix or other insulators have been used which have high adhesion to the materials of electronic equipment, relatively stable, with good coefficient of linear thermal expansion. However, today there is no single choice of materials for different applications. Research is actively ongoing, with major manufacturers of industrial and consumer electronics (AMD, Intel, Infineon, Samsung Electronics, Apple, Tesla, NASA, Boeing, BAE Systems and others), putting more and more resources in this direction, knowing that without solving the thermal stabilization problems, heat dissipation and energy-efficient, serious progress in low-current and high-current electronics and energy impossible. Moreover, virtually invisible during the last ten years however any significant progress in the development of the Russian direction. Finally, it should be specially emphasized, almost all Russian electronic, optoelectronic and energy companies use in their designs, components and devices, foreign materials, and thermal stabilization system (sm., such as reviews in A. Dmitriev. Introduction nanothermophysics. Ed. BINOM. 2015. 792 p.; A. Dmitriev. The thermal wall of micro- and nanoelectronics. Rosnano portal/e-Nano: edunano.ru/doc/6353921192855885264). In this connection, an urgent need to create a Russian technology platform for solving the problems mentioned above. According to the authors of the project, the latter may be the beginning of a technological platform, both fundamental and applied its research base.

4.3. Конкретная задача в рамках проблемы, на решение которой направлен проект, ее масштаб

на русском языке

- проведен анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований в области создания и изучения функциональных материалов и термических интерфейсов с низким граничным термосопротивлением для создания эффективных технологий термостабилизации и охлаждения устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики; будет подготовлен

и написан обзор по результатам анализа, опубликован для ознакомления специалистов в области физики и химии материалов, электроники и энергетики;

- проведен анализ свойств существующих и перспективных функциональных материалов и термоинтерфейсов с целью получения основных закономерностей и методов модификации таких материалов; подготовлены технологические регламенты для опытного и опытно-промышленного производства подобных материалов;
- будут проведены аналитические расчеты и математическое моделирование процессов термостабилизации и отвода тепла на базе функциональных материалов;
- впервые будут разработаны и созданы методы получения новых функциональных энергоэффективных материалов, с использованием обработки их фемтосекундными лазерными импульсами; такая задача для целей проекта будет осуществлена впервые;
- впервые будут разработаны и созданы мезоструктурные поверхности, имеющие оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, помещенные в полимерные и другие матрицы; будут исследованы тепловые и гидродинамические эффекты на поверхности подобных материалов;
- получены образцы нанокompозитов и нанокompондов с полимерными матрицами и нановключениями нанопроволок и нанотрубок, наночастиц, включая наноалмазы; для подобных материалов будут проведены исследования их механических, теплофизических и электрофизических свойств;
- будут впервые созданы образцы графеновых структур методом ультразвукового распыления в специальных средах с последующей обработкой в среде азота для получения графеновых хлопьев с варьируемыми размерами и числом слоев графена;
- получены образцы нанокompозитов и нанокompондов с полимерными матрицами и графеновыми хлопьями и другими и графеновыми структурами; подобные структуры будут получены впервые;
- будут также исследованы новые высокотемпературные керамические материалы на базе нитрида алюминия для включения их в схемы отвода тепла с добавлением других термоинтерфейсных материалов;
- будут исследованы механические, теплофизические и электрофизические свойства полученных образцов;
- будут исследованы на поверхности полученных материалов процессы смачивания и растекания различных потенциальных рабочих жидкостей, которые могут использоваться в широком диапазоне их состояний (от жидкого до парообразного) для снятия тепла и теплоотвода с поверхностей избыточной тепловой мощности и их термостабилизации;
- будут изучены на поверхностях полученных функциональных материалов процессы испарения и кипения (в частности, эффект Лейденфроста, эффекты «кофе-ринга» и т.д.) с целью потенциального использования таких материалов для эффективного капельно-струйного испарительного охлаждения для снятия предельно высоких тепловых нагрузок с объектов электроники и энергетики;
- будут даны рекомендации по разработке линейки энергоэффективных функциональных материалов для решения задач термостабилизации и отвода тепла в задачах слаботочной и сильноточной электроники и энергетики.

на английском языке

As part of this project is expected to achieve the following specific objectives:

- analysis of the current research in the field of creation and study of functional materials and thermal interface boundary with a low thermal resistance for efficient thermal stabilization technology and cooling devices of low-current and high-current electronics and energy; it will be prepared and reviewed the results of the analysis, published information for professionals in the field of physics and chemistry of

materials, electronics and energy;

- analysis of existing and future properties of functional materials, and thermal interfaces in order to obtain the basic laws and methods of modification of these materials; trained technological regulations for the experienced and pilot production of such materials;
- will be carried out analytical calculations and mathematical modeling of the thermal stabilization process and heat removal on the basis of functional materials;
- the first to be developed and established methods of obtaining energy-efficiency new functional materials, using their processing by femtosecond laser pulses; such a problem for the project will be implemented for the first time;
- the first to be developed and created mesostructural surfaces having the original components in the form of monodisperse microspheres of different diameters, placed in the other polymer matrix; they will be investigated thermal and hydrodynamic effects on the surface of such materials;
- obtained samples of nanocomposites and nanocompounds with polymer matrices and nanoinclusions - nanowires and nanotubes, nanoparticles, including nanodiamonds; for such materials will be conducted studies of their mechanical, thermal and electrical properties;
- first be established samples of graphene structures by ultrasonic atomization in special environments, followed by treatment in a nitrogen atmosphere to obtain graphene flakes with varying dimensions and number of layers of graphene;
- obtained samples of nanocomposites and nanocompounds with polymer matrices and graphene flakes and other structures and graphene; similar patterns will be obtained for the first time;
- we will also be investigated by the new high-temperature ceramic materials based on aluminum nitride for inclusion in the scheme of heat removal with the addition of other thermal interface materials;
- will explore the mechanical, thermal and electrical properties of the samples;
- Are examined for surface wetting of the materials obtained and spreading processes various potential working fluids that may be used in a wide range of states (from liquid to vapor) for removing heat from the surfaces of the heat sink and the excess heat capacity and heat setting;
- will be studied on the surfaces of the obtained functional materials boiling and evaporation processes (in particular, the Leidenfrost effect, the effects of "coffee ring", etc.) to the potential uses of such materials for efficient drip-jet evaporative cooling to remove the extremely high thermal loads with electronics and energy facilities;
- will be given advice on the development of energy-efficient line of functional materials for solving heat setting and heat dissipation problems in the low-current and high-current electronics and energy.

4.4. Научная новизна поставленной задачи, обоснование достижимости решения поставленной задачи и возможности получения запланированных результатов *на русском языке*

Научная новизна поставленной задачи связана со следующим. В последние годы, в связи с ростом энергетической мощности большинства устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики, оптоэлектроники, созданием центров обработки данных, развитием современных телекоммуникационных систем и т.д., разработкой и созданием систем хранения и обработки информации, а также систем хранения электрической энергии (в частности, литий-ионных и других батарей), все важнее и критичнее становится проблема термостабилизации и отвода избыточного тепла от указанных устройств. Последние события, связанные с возгоранием и взрывами систем хранения энергии в литий-ионных аккумуляторах (компания Tesla, www.tesla.com и Samsung Electronics, www.samsung.com), проблемы возникновения «тепловой стены» в законе Мура за счет невозможности отвода тепла от горячих точек наноразмерных компонент электроники и оптоэлектроники (www.electronics-cooling.com; prof. E. Pop, Department of Electrical Engineering, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>; prof. K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>; prof. Tim Fisher, Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com>

et. al), проблемы охлаждения антенных устройств в ограниченных пространствах их конструктивных решений, невозможность эффективного охлаждения сверхъярких светодиодных блоков и т.д. делают проблемы теплоотвода и термостабилизации одними из важнейших проблем современной, а тем более, будущей перспективной энергетики, микро- и наноэлектроники и оптоэлектроники. Помимо этого, наличия в окружающей среде огромного количества избыточного тепла, проблема изменения климата, ставят задачи возможной конверсии (преобразования) такого избыточного («бросового») тепла в электрическую энергию. Все указанные проблемы связаны, как показали многочисленные исследования, с необходимостью разработки и создания функциональных энергоэффективных поверхностей для интенсификации тепломассообмена и термоинтерфейсных материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств. Сегодня в мире насчитывается несколько десятков научных групп и сотни компаний, которые исследуют и изучают данную проблему. Однако имеются различные пути достижения указанных целей, и большинство решений отличаются друг от друга и должны быть проверены. Несмотря на многочисленные попытки в России получить сколь-нибудь серьезные результаты в этом направлении, несмотря на многочисленные проекты в этом направлении, особых продвинутых решений не наблюдается. Совершенно понятно, что для решения поставленной проблемы необходимы новые подходы и новые исследования, связанные с разработкой и созданием нового поколения функциональных энергоэффективных поверхностей и термоинтерфейсных материалов, обладающих минимальным термическим граничным сопротивлением на границах с другими материалами. Именно огромные термосопротивления между материалами не дают возможности эффективно охлаждать и термостабилизировать современные и перспективные разрабатываемые в настоящее время устройства слаботочной и сильноточной электроники и энергетики.

Другой важнейшей задачей современной и перспективных направлений электроники и энергетики, особенно силовой электроники больших мощностей, где предполагается использование новых широкозонных полупроводников, таких как SiC, GaN и алмаз является возможность иметь более высокую плотность мощности, что приводит, однако, к более высоким рабочим температурам компонент и устройств. [Z. Valdez-Nava, S. Guillemet-Fritsch, M. Ferrato, M. Kozako, T. Lebey. Co-fired AlN-TiN assembly as a new substrate technology for high-temperature power electronics packaging. *Ceramics International*, Elsevier, 2013, vol. 39(#8), pp.8743-8749. Ожидается, что использование широкозонных полупроводников, таких как SiC, GaN и алмаз будет представлять собой настоящий прорыв в силовой электронике в ближайшем будущем, что определить основные тренды развития на многие годы. Диссипация тепловой мощности в подобных полупроводниковых структурах чрезвычайно высока и ее необходимо отводить от устройств во внешний контур охлаждения. Высокоэффективные материалы для силовой электроники будущего также потребуют решения ряда проблем получения новых функциональных материалов и термоинтерфейсов. Следует особо подчеркнуть, что для отвода тепла нельзя использовать материалы с высокой теплопроводностью типа металлов. Поскольку все электронные компоненты должны быть электроизолированы. Помимо этого, коэффициент термического расширения термоинтерфейсных материалов должен был близок к величине для полупроводниковых структур, иначе при перегреве возникнут большие термические деформации и электронное устройство разрушится. Поэтому единственной возможностью является разработка и создание диэлектрических материалов с максимальной теплопроводностью и оптимальным коэффициентом линейного термического расширения. Как показывает анализ последних исследований в этой области, такими могут материалы типа нанокompозитов (полимерная матрица с нановключениями нанопроволок, нанотрубок или графена). Либо необходимо переходить на высокотемпературную керамику (HTCC PCB) или нанокристаллическую матрицу или даже на монокристаллы (например, опал). Однако подобный спектр исследований весьма велик и такая программа намечена на ближайшие 10-15 лет []. Отметим также, что силовая высокотемпературная электроника должна работать и в жестких внешних условиях (высокая

температура среды, высокая влажность, химическая активность, возможная радиация и т.п. [P. Neudeck, R. Okojie, L. Chen. High-temperature electronics—a role for wide bandgap semiconductors?, Proceedings of the IEEE 90 (2002) 1065, J. Yin, Z. Liang, J.D. van Wyk. High temperature embedded SiC chip module (ECM) for power electronics applications, IEEE Transactions on Power Electronics. 22 (2007) 392.]

Аналогичная ситуация имеет место при разработке и создании сверхмощных светодиодов и светодиодных блоков – перегрев компонент и всего устройства ведет к его деградации и разрушению, в том числе по указанным выше причинам [D. Pounds, R. Bonner III. High Heat Flux Heat Pipes Embedded in Metal Core Printed Circuit Boards for LED Thermal Management. 2014 IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, May 27-30, 2014; Thermal Management of Cree XLamp LEDs. <http://www.cree.com/XLampThermalManagement.pdf>; <http://www.led-heatsink.com>].

Программы развития новых материалов с функциональными поверхностями для интенсификации теплообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств имеют практически все ведущие зарубежные компании, десятки зарубежных университетов и отдельных исследовательских групп. К сожалению, в России не существует ни единой концепции, ни колаборации проектов и лабораторий для решения поставленных в настоящем проекте проблем. Внимательное ознакомление с результатами исследований российских ученых и инженеров за последние 10 лет показывает, что отставание в этом направлении только нарастает. Большинство российских компаний, работающих в различных областях, в которых выпускаются продукты слаботочной и силовой электроники и энергетики (предприятия Росатома, Ростехнологий, Роскосмоса, Роснано и т.п.), все сильнее ощущают отсутствие отечественных продуктов для термостабилизации и охлаждения оборудования. Практически все термоинтерфейсные материалы, которые используются на этих предприятиях, производятся за рубежом. Большой опыт совместных исследований членом научной группы проекта с зарубежными университетами и компаниями (Сеульский национальный университет науки и технологий, Стэнфордский университет, Венский технический университет, Samsung Electronics, Intel и другие) показывает, что по некоторым позициям возможно опережающее развитие и получение новых видов продуктов мирового уровня.

Обзоры современного состояния указанных выше проблем имеются в: Cho J. and Goodson K.E. 2015. Thermal Transport: Cool Electronics. Nature Materials, Vol. 14, pp. 136-137; Won Y., Cho J., Agonafer D., Asheghi M., Goodson K. 2015. Fundamental Cooling Limits for High Power Density GaN Electronics. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 5, pp. 737-744; A.L. Moore, L. Shi, Emerging challenges and materials for thermal management of electronics, Mater. Today. 17(4). 2014. 163–174; А.С. Дмитриев. Тепловые процессы в наноструктурах. М. МЭИ. 2012. 302 стр.; А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики и наноэлектроники. 10 Международная конференция «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», 17-23 сентября 2012, Алушта; А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики: новые рабочие тела и компоненты. «Повышение эффективности энергетического оборудования - 2012», 13–15 ноября 2012 г. Санкт-Петербург; А.С. Дмитриев. Введение в нанотеплофизику. Изд. БИНОМ. 2015. 792 с.; А.С. Дмитриев. Тепловая стена микро- и наноэлектроники. Портал Роснано/e-Nano. <http://edunano.ru/doc/6353921192855885264>.

Целью и задачами настоящего проекта является исследования новых функциональных энергоэффективных материалов, а также изучение их теплофизических и электрофизических свойств, процессов смачивания и растекания по поверхностям этих материалов различных потенциальных рабочих жидкостей, которые могут использоваться в широком диапазоне их состояний (от жидкого до парообразного) для снятия и теплоотвода с поверхностей избыточной тепловой мощности и их термостабилизации. В рамках данного проекта будут разработаны и созданы функциональные энергоэффективные поверхности с использованием обработки их фемтосекундными лазерными импульсами, мезоструктурные поверхности, имеющие

оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, нанокомпозиты и нанокомпаунды с полимерными матрицами и нановключениями на базе нанопроволок и нанотрубок, наночастиц, включая нанодиамазы, графен и графеновые структуры. Будут также исследованы новые высокотемпературные керамические материалы на базе нитрида алюминия для включения их в схемы отвода тепла с добавлением других термоинтерфейсных материалов. Основная доля исследуемых в проекте материалов оригинальна, никогда ранее не использовалась для целей энергоэффективного охлаждения и термостабилизации. Для большинства указанных материалов, которые в рамках проекта будут разработаны и созданы, ранее не исследовались теплофизические и электрофизические, а также механические (например, на прочность сжатия и разрыва) свойства. Помимо этого, будут разработаны, созданы и исследованы некоторые новые типы термоинтерфейсных материалов, также на основе композиций тонких металлических пленок и нанопроволок, а также на основе нанотрубок и графеновых структур.

Научная новизна проекта состоит в разработке и создании новых перспективных энергоэффективных материалов, создании и освоении методик измерения механических, теплофизических и электрофизических характеристик получаемых материалов, проведении серий исследований по потенциальному технологическому использованию полученных материалов для систем охлаждения устройств энергетики и электроники, оптоэлектроники, систем телекоммуникаций. Будут также проведены исследования по свойствам смачивания и растекания рабочих жидкостей по поверхностям разработанных и созданных энергоэффективных функциональных материалов для возможного их использования в системах жидкостного и испарительного охлаждения при отводе тепла от энергонапряженных перегреваемых поверхностей энергетики и электроники. Кроме того, будут намечены шаги по разработке и созданию промышленной отечественной технологии для производства функциональных энергоэффективных поверхностей для интенсификации теплообмена и термоинтерфейсных материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств.

Достижимость решения поставленной задачи и возможности получения запланированных результатов связаны со следующим.

- авторский коллектив имеет опыт исследований и разработок в области получения и изучения новых функциональных материалов, в частности, мезоскопических структур на основе монодисперсных микросфер (запатентованная во многих странах технология, монография руководителя проекта: Е.В. Аметистов, А.С. Дмитриев. Монодисперсные системы и технологии. МЭИ, Москва, 2002.; Государственная премия в области науки и техники РФ 1993 года за разработку такой технологии, Премия Правительства России 2001 г., за использование ее в целом ряде направлений, включая ракетно-космическую технику);
- авторский коллектив имеет опыт исследований и разработок в области получения и изучения нанокомпозитных материалов на основе графена, нанопроволок и нанотрубок (отражено в публикациях авторского коллектива);
- коллектив имеет опыт исследования смачиваемости и растекания, испарения и кипения по мезоскопическим и наноструктурированным подложкам и функциональным материалам (отражено в публикациях авторского коллектива);
- коллектив имеет опыт математического моделирования и аналитических расчетов теплообмена в различных мезо- и наноструктурах, нанокомпозитах и других функциональных материалах (отражено в публикациях авторского коллектива);
- коллектив имеет опыт разработки и создания функциональных материалов с помощью обработки поверхностей фемтосекундными лазерными импульсами (отражено в публикациях авторского коллектива);
- авторский коллектив состоит в основном из молодых исследователей (молодого научного сотрудника и двух аспирантов), весьма амбициозных, увлеченных, активно работающих по указанным в проекте направлениям;

- коллектив имеет опыт работы по зарубежным проектам, включая проекты с компаниями Samsung Electronics, Intel, зарубежными университетами (Сеульский университет науки и технологий (Корея), Стэнфордский университет (США), Венский технический университет (Австрия), компаниями IGC Cryogenics, Sumitomo и др.;
- авторский коллектив располагает необходимой научной и информационной базой, имеет Центр нанотехнологий НИУ «МЭИ», ряд Центров коллективного пользования (МИФИ, Курчатовский институт и т.п.).

на английском языке

Scientific novelty of the problem is related to the following. In recent years, due to increased energy capacity of most low-current and high-current power electronics and devices, optoelectronics, creation of data centers, the development of modern telecommunications systems, etc., development and creation of storage and processing systems, as well as electric storage systems energy (in particular, lithium-ion batteries and other), and all the more critical becomes more important problem of thermal stabilization and removal of excess heat from these devices. Recent events related to the fire and explosion of energy storage in lithium-ion batteries (the company Tesla, www.tesla.com and Samsung Electronics, www.samsung.com), the problem of occurrence of "thermal wall" Moore's law due to the impossibility of removing heat from the hot spots of nanoscale electronics and optoelectronics component (www.electronics-cooling.com; prof E. Pop, Department of Electrical Engineering, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>; prof K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>; prof Tim Fisher, Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com> et al), the problem of cooling the antenna devices in confined spaces, their design decisions, the inability to effectively cool superbright LED blocks, etc. . . make the problems of heat dissipation and thermal stabilization of one of the major problems of the modern and the more promising future energy, micro- and nanoelectronics and optoelectronics. In addition, the presence in the environment a huge amount of excess heat, climate change, pose potential problems conversion (transform) this excess ("junk") of heat into electrical energy. All of these problems are related, as shown by numerous studies, the need to develop energy-efficient and create functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices. Today, there are several dozen research groups, and hundreds of companies that explore and study the problem. However, there are various ways to achieve these goals, and most of the solutions are different from each other and should be checked. Despite numerous attempts in Russia to get any serious results in this direction, in spite of numerous projects in this direction, special advanced solutions is observed. It is clear that in order to solve this problem, new approaches and new research related to the development and creation of a new generation of functional surfaces and energy efficient thermal interface materials with minimal thermal boundary resistance at the borders with other materials. This huge thermal resistance between the materials make it impossible to effectively cool and heat stabilized current and future being developed low-current device and high-current electronics and energy.

Another important task of modern and promising areas of electronics and power, especially the power of high-power electronics, where it is supposed to use the new wide band gap semiconductors such as SiC, GaN and diamond allows is the ability to have a higher power density, which leads, however, to higher operating temperatures components and devices. [Z. Valdez-Nava, S. Guillemet-Fritsch, M. Ferrato, M. Kozako, T. Lebey. Co-fired AlN-TiN assembly as a new substrate technology for high-temperature power electronics packaging. *Ceramics International*, Elsevier, in 2013, vol. 39 (# 8), pp.8743-8749. It is expected that the use of wide-gap semiconductors, such as SiC, GaN and diamond will be a real breakthrough in the power electronics in the near future, to identify the main trends of development for many years. The dissipation of thermal power in such semiconductor structures is extremely high and it must be removed from the device to an external cooling circuit. High performance materials for the power electronics of the future will also require solving a number of problems to obtain

new functional materials, and thermal interfaces. It should be emphasized that in order to remove the heat can not be used with high thermal conductivity materials such as metals. Because all electronic components must be electrically insulated. In addition, the thermal expansion coefficient of thermal interface materials was close to the value for semiconductor structures that otherwise occur when overheated large thermal deformation and collapse electronic device. Therefore, the only possibility is the development and creation of dielectric material with a maximum thermal conductivity and optimal coefficient of linear thermal expansion. As the analysis of the latest research in this field, such materials can type nanocomposites (polymer matrix with nanoinclusions nanowires, nanotubes or graphene). Either you need to move to a high-temperature ceramic (HTCC PCB) or nanocrystalline matrix, or even on single crystals (eg, opal). However, such a range of research is very large and such a program is scheduled for the next 10-15 years []. We also note that the high-power electronics must operate in harsh environments (high temperature, high humidity, chemical activity, the possible radiation, etc. [P. Neudeck, R. Okojie, L. Chen. High-temperature electronics- a role for wide bandgap semiconductors ?, Proceedings of the IEEE 90 (2002) 1065, J. Yin, Z. Liang, JD van Wyk. High temperature embedded SiC chip module (ECM) for power electronics applications, IEEE Transactions on power electronics. 22 (2007) 392]).

A similar situation occurs in the design and creation svermoschnyh LEDs and LED units - overheating of the components and the entire device leads to its degradation and destruction, including the above reasons [D. Pounds, R. Bonner III. High Heat Flux Heat Pipes Embedded in Metal Core Printed Circuit Boards for LED Thermal Management. 2014 IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, May 27-30, 2014; Thermal Management of Cree XLamp LEDs. <http://www.cree.com/XLampThermalManagement.pdf>; <http://www.led-heatsink.com>].

Program development of new materials with functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices have almost all the leading foreign companies, dozens of foreign universities and individual research groups. Unfortunately, in Russia there is not a single concept or collaboration projects and laboratories for solving the problems in this draft. A close acquaintance with the results of the last 10 years of Russian scientists and engineers research shows that the backlog in this area is only growing. Most Russian companies working in various fields in which the products are produced low-current and high-current electronics and energy (Rosatom, Rostekhnologii, Roscosmos, Rosnano, etc.), more and more feel the absence of domestic products for thermal and cooling equipment. Virtually all thermal interface materials that are used in these enterprises, are produced abroad. Extensive experience of collaborative research project members of the scientific group with foreign universities and companies (Seoul National University of Science and Technology, Stanford University, Vienna University of Technology, Samsung Electronics, Intel and others) shows that for some items might advanced development and acquisition of new types of global products level.

Reviews of the current state of the problems mentioned above are available in: Cho J. and Goodson K.E. 2015. Thermal Transport: Cool Electronics. *Nature Materials*, Vol. 14, pp. 136-137; Won Y., Cho J., Agonafer D., Asheghi M., Goodson K. 2015. Fundamental Cooling Limits for High Power Density GaN Electronics. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 5, pp. 737-744; A.L. Moore, L. Shi, Emerging challenges and materials for thermal management of electronics, *Mater. Today*. 17 (4). 2014. 163-174; AS Dmitriev. Thermal processes in nanostructures. *M. MEI*. 2012. 302 p .; AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergetiki and nanoelectronics. 10 International Conference "Actual problems of thermal physics and physical hydrodynamics", 17-23 September 2012, Alushta; AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergy new working body and components. "Improving the efficiency of power equipment - 2012", November 13-15, 2012, St. Petersburg; AS Dmitriev. Introduction to nanothermophysics. Ed. BINOM. 2015. 792 p .; AS Dmitriev. Thermal wall of micro- and nanoelectronics. *Rosnano portal / e-Nano*. <http://edunano.ru/doc/6353921192855885264>.

The purpose and objectives of this project is to study new functional energy-efficient materials, as well

as the study of their thermal and electrical properties, wetting processes and spreading over the surfaces of these materials of different potential working fluids that can be used in a wide range of state (from liquid to vapor) removal and heat from the surfaces of the excess heat capacity and thermal stabilization. The project will be designed and developed functional energy-efficient surface using their processing by femtosecond laser pulses, mesostructural surface with original components in the form of monodisperse microspheres of different diameters, nanocomposites and nanocompounds with polymer matrices and nanoinclusions based on nanowires and nanotubes, nanoparticles, including nanodiamonds graphene and graphene structure. New high-temperature ceramic materials based on aluminum nitride for inclusion in heat removal schemes will also be studied with the addition of other thermal interface materials. The main share in the project studied original material never before used for the purpose of energy-efficient cooling and temperature stabilization. For most of these materials are within the project will be developed and created previously investigated thermal and electrical as well as mechanical (e.g., compression strength and break) properties. In addition, to be developed, designed and studied some new types of thermal interface materials, also based on the compositions of thin metal films and nanowires and nanotubes, and based on the graphene structure.

The scientific novelty of the project is to develop and establish new promising energy-efficient materials, creation and development of methods to measure mechanical, thermal and electrical characteristics of the resulting materials, carrying out a series of studies on the potential use of technology obtained materials for cooling systems and power electronics devices, optoelectronics, telecommunications systems. There will be also carried out research on the properties of wetting and spreading of liquids on surfaces workers designed and built energy efficient functional materials for possible use in liquid and evaporative cooling systems with dissipation of heat from the superheated energy-intensive energy surfaces and electronics. In addition, steps will be outlined on the design and development of domestic industrial technology to energy efficient production of functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices. Accessibility solutions of the problem and the possibility of obtaining the anticipated results linked to the following.

- Research team has experience in research and development in the field of preparation and study of new functional materials, in particular, mesoscopic structures based monodisperse microspheres (patented technology in many countries, the project manager monograph: EV Ametistov, AS Dmitriev. Monodisperse system and technologies, Moscow, 2002 .; State Prize in the field of science and technology of the Russian Federation in 1993 year for the development of such technology, the Russian Government Award 2001 for its use in a number of areas, including space technology).;
- Research team has experience in research and development in the field of preparation and study of nanocomposite materials based on graphene, nanowires and nanotubes (reflected in the publications of authors);
- Research team has experience wetting and spreading, evaporation and boiling on the mesoscopic and nanostructured functional materials and substrates (reflected in the publications of authors);
- Research team has experience modeirovaniya mathematical and analytical calculations of heat and mass transfer in a variety of meso and nanostructures, napnokompozitah and other functional materials (reflected in the publications of authors);
- Research team has experience in the development and creation of functional materials by treating surfaces with femtosecond laser pulses (reflected in the publications of authors);
- Research team consists mainly of young researchers (young researchers and two graduate students), very ambitious, enthusiastic, actively working on these areas in the project;
- A team has experience in international projects work, including projects of Samsung Electronics, Intel, foreign universities (Seoul National University of Science and Technology (Korea), Stanford University (USA), Vienna University of Technology (Austria), companies IGC Cryogenics, Sumitomo, etc.);
- Research team has the necessary scientific and information base, has a nanotechnology Center NRU "MEI", a number of centers for collective use (MNU, Kurchatov Institute, etc.).

4.5. Современное состояние исследований по данной проблеме, основные направления исследований в мировой науке

на русском языке

В последние годы, в связи с ростом энергетической мощности большинства устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики, оптоэлектроники, созданием центров обработки данных, развитием современных телекоммуникационных систем и т.д., разработкой и созданием систем хранения и обработки информации, а также систем хранения электрической энергии (в частности, литий-ионных и других батарей), все важнее и критичнее становится проблема термостабилизации и отвода избыточного тепла от указанных устройств. Последние события, связанные с возгоранием и взрывами систем хранения энергии в литий-ионных аккумуляторах (компании Tesla, www.tesla.com и Samsung Electronics, www.samsung.com), проблемы возникновения «тепловой стены» в законе Мура за счет невозможности отвода тепла от горячих точек наноразмерных компонент электроники и оптоэлектроники (www.electronic-cooling.com; prof. E. Pop, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>; prof. K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>; prof. Tim Fisher, Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com> et. al), проблемы охлаждения антенных устройств в ограниченных пространствах их конструктивных решений, невозможность эффективного охлаждения сверхъярких светодиодных блоков и т.д. делают проблемы теплоотвода и термостабилизации одними из важнейших проблем современной, а тем более, будущей перспективной энергетики, микро- и нанoeлектроники и оптоэлектроники. Помимо этого, наличия в окружающей среде огромного количества избыточного тепла, проблема изменения климата, ставят задачи возможной конверсии (преобразования) такого избыточного («бросового») тепла в электрическую энергию. Все указанные проблемы связаны, как показали многочисленные исследования, с необходимостью разработки и создания функциональных энергоэффективных поверхностей для интенсификации теплообмена и термоинтерфейсных материалов для охлаждения электронных и энергетических устройств. Сегодня в мире насчитывается несколько десятков научных групп и сотни компаний, которые исследуют и изучают данную проблему. Однако, имеются различные пути достижения указанных целей и большинство решений отличаются друг от друга и должны быть проверены. Несмотря на многочисленные попытки в России получить сколь-нибудь серьезные результаты в этом направлении, несмотря на многочисленные проекты в этом направлении, особых продвинутых решений не наблюдается. Совершенно понятно, что для решения поставленной проблемы необходимы новые подходы и новые исследования, связанные с разработкой и созданием нового поколения функциональных энергоэффективных поверхностей и термоинтерфейсных материалов, обладающих минимальным термическим граничным сопротивлением на границах с другими материалами. Именно огромные термосопротивления между материалами не дают возможности эффективно охлаждать и термостабилизировать современные и перспективные разрабатываемые в настоящее время устройства слаботочной и сильноточной электроники и энергетики.

Программы развития новых материалов с функциональными поверхностями для интенсификации теплообмена и термоинтерфейсные материалы для охлаждения электронных и энергетических устройств имеют практически все ведущие зарубежные компании, десятки зарубежных университетов и отдельных исследовательских групп. К сожалению, в России не существует ни единой концепции, ни кооперации проектов и лабораторий для решения поставленных в настоящем проекте проблем. Внимательное ознакомление с результатами исследований российских ученых и инженеров за последние 10 лет показывает, что отставание в этом направлении только нарастает. Большинство российских компаний, работающих в различных областях, в которых выпускаются продукты слаботочной и сильноточной электроники и энергетики (предприятия Росатома, Ростехнологий, Роскосмоса, Роснано и т.п.), все сильнее

ощущают отсутствие отечественных продуктов для термостабилизации и охлаждения оборудования. Практически все термоинтерфейсные материалы, которые используются на этих предприятиях, производятся за рубежом.

Обзоры современного состояния указанных выше проблем имеются в: Cho J. and Goodson K.E. 2015. Thermal Transport: Cool Electronics. *Nature Materials*, Vol. 14, pp. 136-137; Won Y., Cho J., Agonafer D., Asheghi M., Goodson K. 2015. Fundamental Cooling Limits for High Power Density GaN Electronics. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 5, pp. 737-744; A.L. Moore, L. Shi, Emerging challenges and materials for thermal management of electronics, *Mater. Today*. 17(4). 2014. 163–174; А.С. Дмитриев. Тепловые процессы в наноструктурах. М. МЭИ. 2012. 302 стр.; А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики и наноэлектроники. 10 Международная конференция «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», 17-23 сентября 2012, Алушта; А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики: новые рабочие тела и компоненты. «Повышение эффективности энергетического оборудования - 2012», 13–15 ноября 2012 г. Санкт-Петербург; А.С. Дмитриев. Введение в нанотеплофизику. Изд. БИНОМ. 2015. 792 с.; А.С. Дмитриев. Тепловая стена микро- и наноэлектроники. Портал Роснано/e-Nano: edunano.ru/doc/6353921192855885264.

В последнее время были предприняты многочисленные попытки в различных компаниях и университетах (см., например, обзоры: J. Due, A. Robinson. Reliability of thermal interface materials: A review. *Applied Thermal Engineering*. 50. 2013. 455-463; R. Prasher. Thermal interface materials: historical perspective, status, and future directions. *Proceedings of the IEEE*. 94(8). 2006; A. Kumar, N. Ayyagari, T. Fisher. Effects of Graphene Nanopetal Outgrowths on Internal Thermal Interface Resistance in Composites. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2016, 8, 6678–6684; J. Suh, R. Dillon, S. Tseng. Thermal Interface Materials Selection and Application Guidelines: In Perspective of Xilinx Virtex-5QV Thermal Management. Jet Propulsion Laboratory Pasadena, California. California Institute of Technology. Pasadena, California. JPL Publication 15-2 8/15; M. Barako, Y. Gao, Y. Won, A. Marconnet, M. Asheghi, K. Goodson. Reactive Metal Bonding of Carbon Nanotube Arrays for Thermal Interface Applications. *IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY*, VOL. 4, NO. 12, DECEMBER 2014. Pp.1906-1913) найти эффективные материалы для термических интерфейсов, имеющих сравнительно низкое граничное термическое сопротивление и высокую технологичность процесса производства (см., например, последний патент Patent USA # US 2016/0032061 A1/ Polymer-graphene nanocomposites. A. Clauss et al. Appl. XOLVE Inc.).

Были использованы различные мезоскопические и наноматериалы и компоненты внутри полимерных матриц или других диэлектриков, которые имеют высокую адгезию к материалам электронной техники, сравнительно стабильные, с хорошим коэффициентом линейного термического расширения. Однако, сегодня нет однозначного выбора материалов применительно к различным приложениям. Исследования активно продолжаются, причем крупнейшие производители индустриальной и бытовой электроники (AMD, Intel, Infineon, Samsung Electronics, Apple, Tesla, NASA, Boeing, BAE Systems и другие), вкладывая все большие средства в это направление, понимая, что без решения проблемы термостабилизации, отвода тепла и энергоэффективности, серьезный прогресс в слаботочной и сильноточной электронике и энергетике невозможен.

Другой важнейшей задачей современной и перспективных направлений электроники и энергетике, особенно силовой электроники больших мощностей, где предполагается использование новых широкозонных полупроводников, таких как SiC, GaN и алмаз позволит является возможность иметь более высокую плотность мощности, что приводит, однако, к более высоким рабочим температурам компонент и устройств. [Z. Valdez-Nava, S. Guillemet-Fritsch, M. Ferrato, M. Kozako, T. Lebey. Co-fired AlN-TiN assembly as a new substrate technology for high-temperature power electronics packaging. *Ceramics International*, Elsevier, 2013, vol. 39(#8), pp.8743-8749]. Ожидается, что использование широкозонных полупроводников, таких как SiC, GaN и алмаз будет представлять собой настоящий прорыв в силовой электронике в ближайшем будущем, что определить

основные тренды развития на многие годы. Диссипация тепловой мощности в подобных полупроводниковых структурах чрезвычайно высока и ее необходимо отводить от устройств во внешний контур охлаждения. Высокоэффективные материалы для силовой электроники будущего также потребуют решения ряда проблем получения новых функциональных материалов и термоинтерфейсов. Следует особо подчеркнуть, что для отвода тепла нельзя использовать материалы с высокой теплопроводностью типа металлов. Поскольку все электронные компоненты должны быть электроизолированы. Помимо этого, коэффициент термического расширения термоинтерфейсных материалов должен был близок к величине для полупроводниковых структур, иначе при перегреве возникнут большие термические деформации и электронное устройство разрушится. Поэтому единственной возможностью является разработка и создание диэлектрических материалов с максимальной теплопроводностью и оптимальным коэффициентом линейного термического расширения. Как показывает анализ последних исследований в этой области, такими могут быть материалы типа нанокмполитов (полимерная матрица с нановключениями нанопроволок, нанотрубок или графена). Либо необходимо переходить на высокотемпературную керамику (HTCC PCB) или нанокристаллическую матрицу или даже на монокристаллы (например, опал). Однако подобный спектр исследований весьма велик и такая программа намечена на ближайшие 10-15 лет [Carbon Nanosheets for Polymeric Nanocomposites with High Thermal Conductivity. *Adv. Mater.* 2009, 21, 2088–2092; A Review of Recent Advances in Thermal Management in Three Dimensional Chip Stacks in Electronic Systems. *Journal of Electronic Packaging* Copyright VC 2011 by ASME DECEMBER 2011, Vol. 133 / 041011-1; Thermal conductivity of transparent and flexible polymers containing fillers: A literature review. *Int. J. Heat and Mass Transfer* 98 (2016) 219–226]. Отметим также, что силовая высокотемпературная электроника должна работать и в жестких внешних условиях (высокая температура среды, высокая влажность, химическая активность, возможная радиация и т.п. [P. Neudeck, R. Okojie, L. Chen. High-temperature electronics—a role for wide bandgap semiconductors?, *Proceedings of the IEEE* 90 (2002) 1065, J. Yin, Z. Liang, J.D. van Wyk. High temperature embedded SiC chip module (ECM) for power electronics applications, *IEEE Transactions on Power Electronics.* 22 (2007) 392.]).

Аналогичная ситуация имеет место при разработке и создании сверхмощных светодиодов и светодиодных блоков – перегрев компонент и всего устройства ведет к его деградации и разрушению, в том числе по указанным выше причинам [D. Pounds, R. Bonner III. High Heat Flux Heat Pipes Embedded in Metal Core Printed Circuit Boards for LED Thermal Management. 2014 IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, May 27-30, 2014; Thermal Management of Cree XLamp LEDs. <http://www.cree.com/XLampThermalManagement.pdf>; <http://www.led-heatsink.com>].

Основные направления исследований в мировой науке имеют те же тренды, что и задачи, поставленные в настоящем проекте (см. отмеченные выше публикации):

- разработка и создание функциональных материалов, основанных на полимерах с микро- и нанодобавками, включая нанотрубки и графен (работа за рубежом ведется более 10 лет, намечен прогресс, но до окончательного выбора материалов, их морфологии и применений еще далеко);
- разработка и создание термоинтерфейсов на базе полимерных матриц с нанонаполнителями (фуллерены, наночастицы, нанотрубки, нанопроволоки, графен в различных модификациях); работа активно продолжается, исследуются различные материалы для применений в конкретных интерфейсах для охлаждения блоков и устройств слаботочной и силовоточной электроники; поскольку работа ведется в десятках лабораторий мира, то очевидно, что окончательного решения еще не найдено; в России практически отсутствуют научные и технологические группы, которые целенаправленно занимаются фундаментальными исследованиями в этой области; в основном, компании разрабатывают локальные проекты для охлаждения и термостабилизации конкретных приборов и устройств;
- разработка керамических высокотемпературных подложек на основе оксида и нитрида алюминия; к сожалению, очень мало исследований переноса тепла в таких структурах, слабо

изучены термические деформации при нагреве и т.д.;

- имеются многочисленные исследования новых перспективных материалов, включая сложные гибридные материалы, термоинтерфейсы гибридного типа металл-наноккомпозит, металл-полимер-наноккомпозит-металл и т.п.; несмотря на то, что в России активно могут производить такие материалы, практически нет исследований их механических, тепловых и электрических свойств, столь важных для энергоэффективной электроники и энергетики.

Более того, практически не видно за последние десять лет сколь-нибудь заметного прогресса в российских разработках этого направления. Наконец, что особо следует подчеркнуть, практически все российские электронные, оптоэлектронные и энергетические компании используют в своих разработках, компонентах и устройствах зарубежные материалы и системы термостабилизации (см., например, обзоры в А.С. Дмитриев. Введение в нанотеплофизику. Изд. БИНОМ. 2015. 792 с.; А.С. Дмитриев. Тепловая стена микро- и нанoeлектроники. Портал Роснано/e-Nano. <http://edunano.ru/doc/6353921192855885264>). В связи с этим просто срочно необходимо создать технологическую российскую платформу для решения указанных выше задач. По мнению авторов проекта, последний может стать началом такой технологической платформы, как фундаментальная и прикладная ее исследовательская база.

Рынок термоинтерфейсных материалов к 2026 году оценивается в 3,5 миллиарда долларов США. Рынок функциональных материалов к 2023 году оценивается в 50 миллиарда долларов США (см. обзоры ниже).

Последний обзор по функциональным материалам имеется в: «Functional Materials for Future Electronics: Metals, Inorganic & Organic Compounds, Graphene, CNT Fine chemicals needed for future electronics: morphologies, forms, derivatives: opportunities, trends, reasons: de-risk your investment» Nov. 2016. и «Thermal Interface Materials 2016-2026: Status, Opportunities, Market Forecasts Technology benchmarking and market appraisal highlighting opportunities for polymeric and metallic thermal materials». Read more at: <http://www.idtechex.com/research/reports/thermal-interface-materials-2016-2026-status-opportunities-market-forecasts-000474.asp>).

на английском языке

In recent years, due to increased energy capacity of most low-current and high-current power electronics and devices, optoelectronics, creation of data centers, the development of modern telecommunications systems, etc., development and creation of storage and processing systems, as well as electric storage systems energy (in particular, lithium-ion batteries and other), and all the more critical becomes more important problem of thermal stabilization and removal of excess heat from these devices. Recent events related to the fire and explosion of energy storage in lithium-ion batteries (the company Tesla, www.tesla.com and Samsung Electronics, www.samsung.com), the problem of occurrence of "thermal wall" Moore's law due to the impossibility of removing heat from the hot spots of nanoscale electronics and optoelectronics component (www.electronics-cooling.com; prof E. Pop, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>; prof K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>; prof Tim Fisher, Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com> et al), the problem of cooling the antenna devices in confined spaces, their design decisions, the inability to effectively cool superbright LED blocks, etc. make the problems of heat dissipation and thermal stabilization of one of the major problems of the modern and the more promising future energy, micro- and nanoelectronics and optoelectronics. In addition, the presence in the environment a huge amount of excess heat, climate change, pose potential problems conversion (transform) this excess ("junk") of heat into electrical energy. All of these problems are related, as shown by numerous studies, the need to develop energy-efficient and create functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices. Today, there are several dozen research groups, and hundreds of companies that explore and study the problem. However, there are various ways to achieve these objectives and solutions differ most from each other and should be checked. Despite numerous attempts

in Russia to get any serious results in this direction, in spite of numerous projects in this direction, special advanced solutions is observed. It is clear that in order to solve this problem, new approaches and new research related to the development and creation of a new generation of functional surfaces and energy efficient thermal interface materials with minimal thermal boundary resistance at the borders with other materials. This huge thermal resistance between the materials make it impossible to effectively cool and heat stabilized current and future being developed low-current device and high-current electronics and energy.

Program development of new materials with functional surfaces for intensification of heat and mass transfer and thermal interface materials for the cooling of electronic and energy devices have almost all the leading foreign companies, dozens of foreign universities and individual research groups.

Unfortunately, in Russia there is not a single concept or collaboration projects and laboratories for solving the problems in this draft. A close acquaintance with the results of the last 10 years of Russian scientists and engineers research shows that the backlog in this area is only growing. Most Russian companies working in various fields in which the products are produced low-current and high-current electronics and energy (Rosatom, Rostekhnologii, Roscosmos, Rosnano, etc.), more and more feel the absence of domestic products for thermal and cooling equipment. Virtually all thermal interface materials that are used in these enterprises, are produced abroad.

Reviews of the current state of the problems mentioned above are available in: Cho J. and Goodson K.E. 2015. Thermal Transport: Cool Electronics. Nature Materials, Vol. 14, pp. 136-137; Won Y., Cho J., Agonafer D., Asheghi M., Goodson K. 2015. Fundamental Cooling Limits for High Power Density GaN Electronics. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 5, pp. 737-744; A.L. Moore, L. Shi, Emerging challenges and materials for thermal management of electronics, Mater. Today. 17 (4). 2014. 163-174; AS Dmitriev. Thermal processes in nanostructures. M. MEI. 2012. 302 p. ; AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergetiki and nanoelectronics. 10 International Conference "Actual problems of thermal physics and physical hydrodynamics", 17-23 September 2012, Alushta; AS Dmitriev. Thermal problems nanoenergy new working body and components. "Improving the efficiency of power equipment - 2012", November 13-15, 2012, St. Petersburg; AS Dmitriev. Introduction to nanothermophysics. Ed. BINOM. 2015. 792 p. ; AS Dmitriev. Thermal wall of micro- and nanoelectronics. Rosnano portal / e-Nano. <http://edunano.ru/doc/6353921192855885264>.

In recent years, numerous attempts have been made in various companies and universities (see, eg, the reviews: J. Due, A. Robinson Reliability of thermal interface materials: A review Applied Thermal Engineering 50. 2013. 455-463; R.... .. Prasher Thermal interface materials: historical perspective, status, and future directions Proceedings of the IEEE 94 (8) 2006; A. Kumar, N. Ayyagari, T. Fisher Effects of Graphene Nanopetal Outgrowths on Internal Thermal Interface Resistance.... in Composites ACS Appl Mater Interfaces 2016, 8, 6678-6684; J. Suh, R. Dillon, S. Tseng Thermal Interface Materials Selection and Application Guidelines:.... in Perspective of Xilinx Virtex-5QV Thermal Management Jet Propulsion.. Laboratory Pasadena, California California Institute of Technology Pasadena, California JPL Publication 15-2 8/15;... M. Barako, Y. Gao, Y. Won, A. Marconnet, M. Asheghi, K. Goodson Reactive Metal Bonding of Carbon Nanotube Arrays for Thermal Interface Applications. IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, VOL. 4, NO. 12, DECEMBER 2014. Pp.1906-1913) find effective thermal interface materials having a relatively low thermal boundary resistance and high technology manufacturing process (see., Eg, the last patent Patent USA # US 2016/0032061 A1 / Polymer-graphene nanocomposites . A. Clauss et al. Appl. XOLVE Inc.).

Various nanomaterials and mesoscopic components within the polymer matrix or other insulators have been used which have high adhesion to the materials of electronic equipment, relatively stable, with good coefficient of linear thermal expansion. However, today there is no single choice of materials for different applications. Research is actively ongoing, with major manufacturers of industrial and consumer electronics (AMD, Intel, Infineon, Samsung Electronics, Apple, Tesla, NASA, Boeing, BAE Systems and others), putting more and more resources in this direction, knowing that without solving the thermal stabilization problems , heat dissipation and energoeffektivnocti, serious progress in low-current and

high-current electronics and energy impossible.

Another important task of modern and promising areas of electronics and power, especially the power of high-power electronics, where it is supposed to use the new wide band gap semiconductors such as SiC, GaN and diamond allows is the ability to have a higher power density, which leads, however, to higher operating temperatures components and devices. [Z. Valdez-Nava, S. Guillemet-Fritsch, M. Ferrato, M. Kozako, T. Lebey. Co-fired AlN-TiN assembly as a new substrate technology for high-temperature power electronics packaging. *Ceramics International*, Elsevier, in 2013, vol. 39 (# 8), pp.8743-8749]. It is expected that the use of wide-gap semiconductors, such as SiC, GaN and diamond will be a real breakthrough in the power electronics in the near future, to identify the main trends of development for many years. The dissipation of thermal power in such semiconductor structures is extremely high and it must be removed from the device to an external cooling circuit. High performance materials for the power electronics of the future will also require solving a number of problems to obtain new functional materials, and thermal interfaces. It should be emphasized that in order to remove the heat can not be used with high thermal conductivity materials such as metals. Because all electronic components must be electrically insulated. In addition, the thermal expansion coefficient of thermal interface materials was close to the value for semiconductor structures that otherwise occur when overheated large thermal deformation and collapse electronic device. Therefore, the only possibility is the development and creation of dielectric material with a maximum thermal conductivity and optimal coefficient of linear thermal expansion. As the analysis of the latest research in this field, such materials can type nanocomposites (polymer matrix with nano-inclusions nanowires, nanotubes or graphene). Either you need to move to a high-temperature ceramic (HTCC PCB) or nanocrystalline matrix, or even on single crystals (eg, opal). However, such a range of research is very large and such a program is scheduled for the next 10-15 years [Carbon Nanosheets for Polymeric Nanocomposites with High Thermal Conductivity. *Adv. Mater.* 2009, 21, 2088-2092; A Review of Recent Advances in Thermal Management in Three Dimensional Chip Stacks in Electronic Systems. *Journal of Electronic Packaging* Copyright VC 2011 by ASME DECEMBER 2011, Vol. 133 / 041011-1; Thermal conductivity of transparent and flexible polymers containing fillers: A literature review. *Int. J. Heat and Mass Transfer* 98 (2016) 219-226]. We also note that the high-power electronics must operate in harsh environments (high temperature, high humidity, chemical activity, the possible radiation, etc. [P. Neudeck, R. Okojie, L. Chen. High-temperature electronics- a role for wide bandgap semiconductors ?, *Proceedings of the IEEE* 90 (2002) 1065, J. Yin, Z. Liang, JD van Wyk. High temperature embedded SiC chip module (ECM) for power electronics applications, *IEEE Transactions on power electronics.* 22 (2007) 392]). A similar situation occurs in the design and creation svermoschnyh LEDs and LED units - overheating of the components and the entire device leads to its degradation and destruction, including the above reasons [D. Pounds, R. Bonner III. High Heat Flux Heat Pipes Embedded in Metal Core Printed Circuit Boards for LED Thermal Management. 2014 IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), Orlando, FL, May 27-30, 2014; Thermal Management of Cree XLamp LEDs. <http://www.cree.com/XLampThermalManagement.pdf>; <http://www.led-heatsink.com>].

The main areas of research in the world of science have the same trend as the objectives set out in this draft (see publications mentioned above):

- Development and creation of functional materials based on polymers with micro- and nano-additive including nanotubes and graphene (work abroad is carried out over 10 years, is scheduled progress, but before the final selection of the materials, their morphology and applications is still far);
- Development and creation of thermal interfaces based on polymer matrices with nanofillers (fullerenes, nanoparticles, nanotubes, nanowires, graphene in different versions); Work actively continues investigated different materials for applications in specific interfaces for cooling units and devices, low-current and high-current electronics; because the work is carried out in dozens of laboratories in the world, it is obvious that a final decision has not yet been found; in Russia there are practically no scientific and technological groups that purposefully engaged in fundamental research in this area; mainly local

- companies develop designs for cooling and heat setting specific instruments and devices;
- Development of high-temperature ceramic-based substrates and aluminum nitride oxide; Unfortunately, very little heat transfer studies in such structures, poorly studied thermal deformation during heating, etc .;
 - There are numerous studies of advanced materials, including complex hybrid materials, thermal interface hybrid nanocomposite metal, metal-polymer nanocomposite metal, etc.; despite the fact that in Russia can actively produce such materials, almost no studies of their mechanical, thermal and electrical properties, so important for energy-efficient and power electronics.

Moreover, virtually invisible during the last ten years however any significant progress in the development of the Russian direction. Finally, it should be specially emphasized, almost all Russian electronic, optoelectronic and energy companies use in their designs, components and devices, foreign materials, and thermal stabilization system (see., Eg, the reviews in the AS Dmitriev. Introduction to nanothermophysics. Ed. BINOM. 2015. 792 p .; Alexander Dmitriev. The thermal wall of micro- and nanoelectronics. Rosnano portal / e-Nano. <http://edunano.ru/doc/6353921192855885264>). In this connection, an urgent need to create a Russian technology platform for solving the problems mentioned above. According to the authors of the project, the latter may be the beginning of a technological platform, both fundamental and applied its research base.

Thermal interface materials market by 2026 is estimated at 3.5 billion US dollars. functional materials market by 2023 is estimated at US \$ 50 billion (see. below reviews).

Last review of functional materials is available in: «Functional Materials for Future Electronics: Metals, Inorganic & Organic Compounds, Graphene, CNT Fine chemicals needed for future electronics: morphologies, forms, derivatives: opportunities, trends, reasons: de-risk your investment» Nov. 2016 and «Thermal Interface Materials 2016-2026: Status, Opportunities, Market Forecasts Technology benchmarking and market appraisal highlighting opportunities for polymeric and metallic thermal materials». Read more at: <http://www.idtechex.com/research/reports/thermal-interface-materials-2016-2026-status-opportunities-market-forecasts-000474.asp>..

4.6. Основные мировые научные конкуренты

Сегодня в области функциональных энергоэффективных материалов и термоинтерфейсов работает много научных и инженерных групп. Практически в каждом зарубежном университет, где есть направления слаботочной и силовоточной электроники и энергетики существуют научные группы по указанным направлениям. Среди них ведущие:

- группа проф. Попа (prof. E. Pop, Stanford University, <http://poplab.stanford.edu>);
- группа проф. Гудсона (prof. K. Goodson, <https://nanoheat.stanford.edu>);
- группа проф. Фишера (Purdue University, <http://www.nanotransportgroup.com>);
- группа проф. Баландина (<http://www.ee.ucr.edu/~balandin/>);
- группа проф. Бьона (School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, South Korea).

Проблемами занимаются ведущие мировые компании (самый последний обзор имеется в «Thermal Interface Materials 2016-2026: Status, Opportunities, Market Forecasts Technology benchmarking and market appraisal highlighting opportunities for polymeric and metallic thermal materials». Read more at: <http://www.idtechex.com/research/reports/thermal-interface-materials-2016-2026-status-opportunities-market-forecasts-000474.asp>..).

- 3M Electronic Materials;
- AI Technology;
- AIM Specialty Materials;
- AOS Thermal;
- Denka;

- DK Thermal;
- Dow Corning;
- Dymax Corporation;
- Ellsworth Adhesives;
- Enerdyne;
- European Thermodynamics Ltd;
- Fujipoly;
- Fralock;
- GrafTech;
- Henkel;
- Honeywell;
- Indium Corporation;
- Inkron;
- Kitagawa Industries;
- Laird Tech;
- LORD;
- MA Electronics;
- MH&W International;
- Minteq;
- Momentive;
- Parker;
- Chomerics
- Intel;
- AMD;
- Samsung Electronics;
- Dow Corning;
- Philips.

Рынок термоинтерфейсных материалов к 2026 году оценивается в 3,5 миллиарда долларов США. Рынок функциональных материалов к 2023 году оценивается в 50 миллиарда долларов США.

Последний обзор по функциональным материалам имеется в: «Functional Materials for Future Electronics: Metals, Inorganic & Organic Compounds, Graphene, CNT Fine chemicals needed for future electronics: morphologies, forms, derivatives: opportunities, trends, reasons: de-risk your investment» Nov. 2016.

Read more at: <http://www.idtechex.com/research/reports/functional-materials-for-future-electronics-metals-inorganic-and-organic-compounds-graphene-cnt-000329.asp>

Относительно российских научных разработок следует особо подчеркнуть только отдельные научных групп при университетах и академических института, которые не занимаются проблемой в целом, а исследуют отдельные задачи термоинтерфейсных материалов или применительно к конкретным электронным или энергетическим устройствам. Заметных научных рейтинговых российских публикаций практически нет, если только не работают в коллаборации с зарубежными специалистами.

4.7. Предлагаемые методы и подходы, общий план работы на весь срок выполнения проекта и ожидаемые результаты (объемом не менее 2 стр.; в том числе указываются ожидаемые конкретные результаты по годам; общий план дается с разбивкой по годам)

на русском языке

Предполагаемые методы и подходы. В проекте будут применены новые методы получения функциональных и термоинтерфейсных материалов. Для получения материалов со специальными

свойствами смачивания, растекания и теплообмена будут использован фемтосекундный лазер и система сканирования для обработки поверхности. Для изготовления образцов мезоскопических структур функциональных материалов будет использован для изготовления монодисперсных микросфер полностью оригинальный метод вынужденного капиллярного распада жидкометаллических струй в вакууме и инертной среде. Для изготовления композита из микросфер будут использовано оборудования для получения композитов. Для изготовления графеновых нанокомпозитов будет использован новый метод жидкофазного пиллинга графита в ультразвуковом поле большой мощности с последующей сепарацией и очисткой, новой технологией азотирования. В качестве оборудования будут использованы в процессе работы и исследования электронные сканирующие и просвечивающие микроскопы, атомная силовая микроскопия, системы лазерной диагностики и спектрофотометры широкого диапазона длин волн, высокоскоростные камеры видимого и инфракрасного диапазонов. Кроме того, для измерения теплопроводности будут использованы несколько способов – термодатчик с нагревом от нити, термодатчик с нагревом от пластины, инфракрасный нагрев с варьируемой интенсивностью и, наконец, самый совершенный на сегодня в мире метод «лазер-флэш» - лазерная вспышка для измерения теплопереноса в образцах. При моделировании процессов в функциональных материалах и термоинтерфейсах будут использованы самые совершенные аналитические модели и методы расчетов, при численном моделировании – пакеты Phenics и Comsol.

2017 год:

- анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований в области создания и изучения функциональных материалов и термических интерфейсов с низким граничным термосопротивлением для создания эффективных технологий термостабилизации и охлаждения устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики;
- сравнение базовых характеристик основных материалов и выбор методик изготовления новых перспективных материалов;
- подготовлен и написан обзор по результатам анализа, опубликован для ознакомления специалистов в области физики и химии материалов, электроники и энергетики;
- проведен анализ методов модификации материалов; подготовлены технологические регламенты для опытного производства образцов подобных материалов;
- проведены аналитические расчеты и математическое моделирование процессов термостабилизации и отвода тепла на базе функциональных материалов;
- подготовлены образцы функциональных материалов и термоинтерфейсов на основе получения мезоскопических композитов на базе полимеров и микросфер металлов и сплавов;
- будут проведены исследования полученных материалов с применением оптической и электронной микроскопии;
- будут изучены механические и термомеханические свойства таких материалов при нагрузках сжатия и растяжения;
- впервые будут разработаны и созданы мезоструктурные поверхности, имеющие оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, помещенные в полимерные и другие матрицы; будут исследованы тепловые и гидродинамические эффекты на поверхности подобных материалов;
- для мезоскопических структур будут исследованы режимы смачивания и растекания капель рабочих жидкостей по подобным поверхностям, найдены температурные зависимости контактных углов и гистерезиса, а также влияние по последние морфологии поверхности.

2018 год:

- впервые будут разработаны и созданы методы получения новых функциональных энергоэффективных материалов, с использованием обработки их фемтосекундными лазерными

- импульсами; такая задача для целей проекта будет осуществлена впервые;
- для функциональных поверхностей, полученных с помощью фемтосекундных лазерных импульсов будут исследованы режимы смачивания и растекания капель рабочих жидкостей, найдены температурные зависимости контактных углов и гистерезиса, а также влияние по последние морфологии поверхности;
 - будут исследованы процессы теплообмена на такой поверхности, режимы испарения и кипения с целью выяснения предельных тепловых потоков, которые можно отвести от поверхности;
 - будут исследованы статические и динамические углы смачивания и растекания капель рабочих жидкостей (органических компаундов и композиций на базе нанокolloидов, включая нанокolloиды из монодисперсных наноалмазов) по различным модифицированным/немодифицированным подложкам;
 - получены образцы нанокomпозитов и нанокomпаундов с полимерными матрицами и нановключениями нанопроволок и нанотрубок, наночастиц, включая наноалмазы; для подобных материалов будут проведены исследования их механических, теплофизических и электрофизических свойств;
 - будут впервые созданы образцы графеновых структур методом ультразвукового распыления в специальных средах с последующей обработкой в среде азота для получения графеновых хлопьев с варьируемыми размерами и числом слоев графена;

2019 год:

- получены образцы нанокomпозитов и нанокomпаундов с полимерными матрицами и графеновыми хлопьями и другими и графеновыми структурами; подобные структуры будут получены впервые;
- будут также исследованы новые высокотемпературные керамические материалы на базе нитрида алюминия для включения их в схемы отвода тепла с добавлением других термоинтерфейсных материалов;
- будут исследованы механические, теплофизические и электрофизические свойства полученных образцов;
- будут исследованы на поверхности полученных материалов процессы смачивания и растекания различных потенциальных рабочих жидкостей, которые могут использоваться в широком диапазоне их состояний (от жидкого до парообразного) для снятия тепла и теплоотвода с поверхностей избыточной тепловой мощности и их термостабилизации;
- будут изучены на поверхностях полученных функциональных материалов процессы испарения и кипения (в частности, эффект Лейденфроста, эффекты «кофе-ринга» и т.д.) с целью потенциального использования таких материалов для эффективного капельно-струйного испарительного охлаждения для снятия предельно высоких тепловых нагрузок с объектов электроники и энергетики;
- будут даны рекомендации по разработке линейки энергоэффективных функциональных материалов для решения задач термостабилизации и отвода тепла в задачах слаботочной и силовоточной электроники и энергетики.

на английском языке

Prospective methods and approaches. The project will apply new methods of producing functional and thermal interface materials. For materials with special properties of wetting, spreading, and heat and mass transfer will be used femtosecond laser and scanning system for surface treatment. For the manufacture of mesoscopic structures of functional materials samples will be used to produce monodisperse microspheres completely original method of forced capillary disintegration of liquid metal jets in vacuum and inert atmosphere. Equipment for composites to be used for the manufacture of

composite microspheres. For making nanocomposites graphene will be used a new method in the liquid phase exfoliation of graphite of high power ultrasonic field, followed by separation and purification, the new technology of nitriding. As the equipment will be used in the process of research and scanning and transmission electron microscopes, atomic force microscopy, laser diagnostics system and a wide range of spectrophotometers wavelength, high-speed cameras visible and infrared ranges. thermocouple method with heating from the filament, thermocouple method with heating from the plate, infrared heating with variable intensity, and finally the most advanced in the world today method "Laser flash" - - Laser flash to Additionally, several methods are used to measure the thermal conductivity measurement of heat transfer in the samples.

In the simulation of processes in functional materials and thermal interface will be used the most advanced analytical models and calculation methods for the numerical simulation - Phenics and Comsol packages.

2017:

- Analysis of the current status of basic and applied research in the field of creation and study of functional materials and thermal interface boundary with a low thermal resistance for efficient thermal stabilization technology and cooling devices and low-current and high-current electronics and energy;
- Comparison of the basic characteristics of the basic materials and the choice of manufacturing techniques of advanced materials;
- Prepared and reviewed the results of the analysis, published for professionals in the field of physics and chemistry of materials, electronics and energy;
- An analysis of the modification methods of materials; trained technological regulations for the pilot production of such materials samples;
- Held analytical calculations and mathematical modeling of the thermal stabilization process and heat removal on the basis of functional materials;
- Prepared samples of functional materials, and thermal interfaces based on the receipt of mesoscopic composites based on polymers and microspheres of metals and alloys;
- Studies will be conducted with the use of materials obtained optical and electron microscopy;
- Will be studied mechanical and thermo mechanics properties of such materials under loads of compression and tension;
- The first to be developed and created mesostructural surfaces having the original components in the form of monodisperse microspheres of different diameters, placed in the other polymer matrix; They will be investigated thermal and hydrodynamic effects on the surface of such materials;
- For mesoscopic structures of the temperature dependence of the contact angle and hysteresis, and the impact on the surface morphology of the past regimes of wetting and spreading of droplets of working fluid on such surfaces will be investigated found.

2018:

- The first to be developed and established methods of obtaining energy efficiency of new functional materials, using their processing by femtosecond laser pulses; such a problem for the project will be implemented for the first time;
- For functional surfaces, obtained by femtosecond laser pulses are investigated regimes of wetting and spreading of droplets working fluids, found the temperature dependence of the contact angle and hysteresis, and the impact on the surface morphology of the past;
- Will explore the processes of heat and mass transfer on such a surface, evaporation and boiling regimes in order to clarify the limit of heat flows, which can be taken away from the surface;
- Will be investigated both static and dynamic angles of wetting and spreading of droplets of working fluids (organic compounds and compositions based nanocolloids including nanocolloids of monodisperse nano-diamonds) on various modified / unmodified substrates\$
- Obtained samples of nanocomposites and nanocompounds with polymer matrices and nanoinclusions nanowires and nanotubes, nanoparticles, including nanodiamonds; for such materials will be conducted studies of their mechanical, thermal and electrical properties;

- Samples are graphene structures by ultrasonic atomization in special environments created first, followed by treatment in a nitrogen atmosphere to obtain graphene flakes with varying dimensions and number of layers of graphene.

2019:

- Obtained samples of nanocomposites and nanocompounds with polymer matrices and graphene flakes and other structures and graphene; similar patterns will be obtained for the first time;
- We will also be investigated by the new high-temperature ceramic materials based on aluminum nitride for inclusion in the scheme of heat removal with the addition of other thermal interface materials;
- Will explore the mechanical, thermal and electrical properties of the samples;
- Are examined for surface wetting of the materials obtained and spreading processes various potential working fluids that may be used in a wide range of states (from liquid to vapor) for removing heat from the surfaces of the heat sink and the excess heat capacity and heat setting;
- Will be studied on the surfaces of the obtained functional materials boiling and evaporation processes (in particular, the Leidenfrost effect, the effects of "coffee ring", etc.) to the potential uses of such materials for efficient drip-jet evaporative cooling to remove the extremely high thermal loads with electronics and energy facilities;
- Will be given advice on the development of energy-efficient line of functional materials for solving heat setting and heat dissipation problems in the low-current and high-current electronics and energy.

4.8. Имеющийся у научного коллектива научный задел по проекту (указываются полученные ранее результаты, разработанные программы и методы)

Авторы проекта активно ведут исследования в областях, близких к теме проекта. В частности, - исследование режимов пузырькового кипения в мезоструктурах микросфер и обнаружение нового эффекта прыгающих пузырей (публикации [1,2] списка публикаций руководителя проекта);

- изучение режимов испарения на мезоструктурных и наноструктурированных поверхностях (публикации [3-6] списка списка публикаций руководителя проекта);
- исследование испарение капель наножидкостей на функциональных наноструктурированных и мезоповерхностях; обнаружение новых проявлений «кофе-ринг» эффекта (публикации [3-6] списка списка публикаций руководителя проекта);
- исследование новых явлений испарения, кипения и теплообмена, эффекта Лейденфроста и эффективного отвода тепла на мезоскопических и наноструктурированных поверхностях; публикации [3,4] и:

А) А.С. Дмитриев, А.С. Романов. Особенности теплообмена при взаимодействии капель рабочих жидкостей с мезоскопическими и наномасштабными поверхностями энергетического оборудования. Вестник МЭИ, № 2, с.1-14, 2013, импакт-фактор – 0,16.

Б). А.С. Дмитриев. Введение в нанотеплофизику. (монография). Изд. БИНОМ. 2015. 792 с.

В). A. F. Ginevskiy, A.S. Dmitriev, M. A. El Bouz Evaporation rate from mesoscopic structures of monodispersed microspheres: experimental and computer simulations. 7th Conference of the International Marangoni Association, June 23–26, 2014, Vienna University of Technology.

- создание мезоскопических и наноструктурированных поверхностей для эффективного теплообмена с помощью фемтосекундных лазерных импульсов; публикации [7,8], а также

А). А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики: новые рабочие тела и компоненты. Энергетика Татарстана. № 2. 2013. С. 10-27.

Б) А.С. Дмитриев, А.С. Романов. Особенности теплообмена при взаимодействии капель рабочих жидкостей с мезоскопическими и наномасштабными поверхностями энергетического оборудования. Вестник МЭИ, № 2, с.1-14, 2013.

Г). S. A. Romashevskiy, M. B. Agranat, A.S. Dmitriev. Wetting and evaporation processes on functional

silicon surfaces after direct femtosecond laser surface processing and thermal training. International Symposium "Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies" (FLAMN-16), PS1-LT-17.

- исследование процессов смачивания, растекания, испарения и кипения рабочих жидкостей на мезоскопических и наноструктурированных поверхностях, полученных с помощью фемтосекундных лазерных импульсов; публикации [7,8], а также

a). A.S. Dmitriev, AS Romanov. Features of heat and mass transfer in the interaction of droplets of working fluids with mesoscopic and nanoscale surfaces of power equipment. Bulletin of the MEI, № 2, s.1-14, 2013 Impact Factor - 0.16.

b). A.S. Dmitriev, P.G. Makarov. Optical Methods for Studying the Drying Dynamics of Fe₂O₃ Nanocolloid Droplets Depending on Variation of Substrate Temperature. Applied Mechanics and Materials (Volumes 789-790), 2015, pp. 33-37.

- исследование переноса тепла через термоинтерфейсы и взаимодействие поверхностей с наножидкостями; публикации:

A). A.S. Dmitriev. Fluctuation hydrodynamics, thermophoresis of nanoparticles and heat transfer in nanofluids. Proceedings of the 3th Micro/Nanoscale Heat & Mass Transfer International Conference March 3-6, 2012, Atlanta, Georgia, USA. MNHMT2012-75205.

Б). А.С. Дмитриев. Тепловые процессы в наноструктурах. М. МЭИ. 2012. 302 стр.

В). А.С. Дмитриев, А.А. Икрин. Об оптимизации работы термоэлектрического охладителя с использованием наноматериалов, комбинированного с микрочипом. Вестник МЭИ, 2012, № 2, с. 13-21.

Г). А.С. Дмитриев, А.С. Романов, Ю.В. Смирнов. Об инфракрасной микроскопии высокого разрешения для изучения переноса тепла в нанопокртыях и наноконпозитах. XXII Международная научно-техническая конференция, школа молодых специалистов и выставка по фотоэлектронике и приборам ночного видения 22-25 мая 2012 Москва, Россия.

Д). А.С. Дмитриев. Теплофизические процессы в наноструктурах. «Повышение эффективности, надежности и безопасности работы энергетического оборудования ТЭС и АЭС». 4-6 апреля 2012. Изд. Дом МЭИ. 2012.

Е). А.С. Дмитриев. Теплофизические проблемы наноэнергетики и наноэлектроники. 10 Международная конференция «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», 17-23 сентября 2012, Алушта.

Ж). А.С. Дмитриев, А.С. Романов. Особенности теплообмена при взаимодействии капель рабочих жидкостей с мезоскопическими и наномасштабными поверхностями энергетического оборудования. «Повышение эффективности энергетического оборудования - 2012», 13-15 ноября 2012 г. Санкт-Петербург.

Кроме того, авторы проекта проводили совместные исследования с научными группами из ряда зарубежных организаций, участвовали в разработках коммерческих продуктов для систем термостабилизации электронных устройств и разработкой новых термоинтерфейсных материалов.

Авторами проекта разработаны методы расчета переноса тепла в мезоскопических и наноструктурах, получены новые данные по теплообмену на мезо- и наноструктурированных поверхностях, обнаружены и описаны новые эффекты в указанной области (список публикаций руководителя проекта). Авторы подготовили и читают несколько курсов лекций по тематике проекта, неоднократно докладывали свои работы на научных семинарах в российских университетах и компаниях, а также зарубежных университетах и компаниях.

Руководитель проекта подготовил более десяти аспирантов в четырех странах мира по темам, близким к теме проекта.

4.9. Перечень оборудования, материалов, информационных и других ресурсов,

имеющихся у научного коллектива для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

Научная группа располагает всеми необходимыми ресурсами для выполнения проекта. В качестве метрологического оборудования будут использованы современные оптические и электронные растровые микроскопы, просвечивающие электронные микроскопы высокого разрешения, атомная силовая микроскопия, приборы для теста поверхности и исследования механических свойств микро- и нанорельефа, самое современное оборудования для изучения процессов смачивания и растекания, высокоскоростные камеры для получения оптических изображений, инфракрасные камеры высокого разрешения для исследования картины тепловых полей. Экспериментальные данные по тепломассообмену будут получаться на современных стендах, разработанные авторским коллективом для исследования процессов испарения, конденсации и кипения на мезоскопических и нанорельефных структурах. Математические модели процессов будут разработаны на основе ранее созданных авторами теоретических подходах по переносу тепла в мезоскопических и наноструктурах.

Научная группа будет пользоваться услугами Центра коллективного пользования НОЦ «Нанотехнологии», располагающего всем необходимым современным нанотехнологическим оборудованием (сверхвысоковакуумный аналитический модуль электронно-ионной спектроскопии на базе платформы НаноФаб 25 предназначен для проведения комплексного анализа поверхностных слоев твердого тела. В аналитическом модуле могут исследоваться образцы с размерами до 10×10×8 мм в условиях сверхвысокого вакуума (2×10^{-8} Па), комплекс на базе просвечивающего электронного микроскопа TECHNAI G2 20 TWIN, нанолaborатория NTEGRA SPECTRA с блоком контроля качества поверхности образцов при повышенных температурах THERMA+, скретч-тестер CSM Instruments для наномеханических испытаний, изучения свойств поверхности тонких пленок и покрытий, таких как адгезия, хрупкость, деформация, отслаивание и износостойкость путем испытания царапаньем, сканирующий нанотвердомер НаноСкан-3D для исследования рельефа и структуры поверхностей и измерения механических свойств, электронно-оптический микроскоп FEI PHENOM, толщиномер CALOTEST INDUSTRIA, установка для измерения контактных углов с автоматизированной системой обработки EasyDrop и другое оборудование).

Научная группа располагает доступом ко всем необходимым материалам и информационным ресурсам для успешного выполнения проекта.

4.10. План работы на первый год выполнения проекта (в том числе указываются запланированные командировки по проекту)

на русском языке

2017 год:

- анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований в области создания и изучения функциональных материалов и термических интерфейсов с низким граничным термосопротивлением для создания эффективных технологий термостабилизации и охлаждения устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики;
- сравнение базовых характеристик основных материалов и выбор методик изготовления новых перспективных материалов;
- подготовлен и написан обзор по результатам анализа, опубликован для ознакомления специалистов в области физики и химии материалов, электроники и энергетики;
- проведен анализ методов модификации материалов; подготовлены технологические регламенты для опытного производства образцов подобных материалов;
- проведены аналитические расчеты и математическое моделирование процессов термостабилизации и отвода тепла на базе функциональных материалов;

- подготовлены образцы функциональных материалов и термоинтерфейсов на основе получения мезоскопических композитов на базе полимеров и микросфер металлов и сплавов;
- будут проведены исследования полученных материалов с применением оптической и электронной микроскопии;
- будут изучены механические и термомеханические свойства таких материалов при нагрузках сжатия и растяжения;
- впервые будут разработаны и созданы мезоструктурные поверхности, имеющие оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, помещенные в полимерные и другие матрицы; будут исследованы тепловые и гидродинамические эффекты на поверхности подобных материалов;
- для мезоскопических структур будут исследованы режимы смачивания и растекания капель рабочих жидкостей по подобным поверхностям, найдены температурные зависимости контактных углов и гистерезиса, а также влияние по последние морфологии поверхности.

Командировки на первый года не запланированы

на английском языке

2017:

- Analysis of the current status of basic and applied research in the field of creation and study of functional materials and thermal interface boundary with a low thermal resistance for efficient thermal stabilization technology and cooling devices and low-current and high-current electronics and energy;
- Comparison of the basic characteristics of the basic materials and the choice of manufacturing techniques of advanced materials;
- Prepared and reviewed the results of the analysis, published for professionals in the field of physics and chemistry of materials, electronics and energy;
- An analysis of the modification methods of materials; trained technological regulations for the pilot production of such materials samples;
- Held analytical calculations and mathematical modeling of the thermal stabilization process and heat removal on the basis of functional materials;
- Prepared samples of functional materials, and thermal interfaces based on the receipt of mesoscopic composites based on polymers and microspheres of metals and alloys;
- Studies will be conducted with the use of materials obtained optical and electron microscopy;
- Will be studied mechanical and thermo mechanics properties of such materials under loads of compression and tension;
- The first to be developed and created mesostructural surfaces having the original components in the form of monodisperse microspheres of different diameters, placed in the other polymer matrix; They will be investigated thermal and hydrodynamic effects on the surface of such materials;
- For mesoscopic structures of the temperature dependence of the contact angle and hysteresis, and the impact on the surface morphology of the past regimes of wetting and spreading of droplets of working fluid on such surfaces will be investigated found.

Business trips are not planned for the first year

4.11. Планируемое на первый год содержание работы каждого основного исполнителя проекта (включая руководителя проекта)

2017 год:

Руководитель проекта А.С. Дмитриев:

- анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований в области создания и изучения функциональных материалов и термических интерфейсов с низким граничным термосопротивлением;

- анализ современных технологий получения и исследования термоинтерфейсов;
- исследование эффективных технологий термостабилизации и охлаждения устройств слаботочной и сильноточной электроники и энергетики, построение сравнительных моделей и карты режима эффективности отдельных технологий охлаждения;
- построение моделей процессов переноса тепла внутри функциональных материалов и интерфейсов, предварительные расчеты эффективности функциональных поверхностей и термоинтерфейсов;
- сравнение базовых характеристик основных материалов и выбор методик изготовления новых перспективных материалов;
- подготовка и написание обзора по результатам анализа.

Основной исполнитель А.А. Дмитриев:

- анализ методов модификации материалов;
- анализ и подготовка технологических регламентов для опытного производства образцов материалов;
- подготовка метрологического оборудования, изготовление и тестирование начальных образцов мезоскопических структур и нанокompозитов на основе графена с точки зрения стабильности и других факторов;
- проведение исследования образцов функциональных материалов на атомном силовом, оптическом и электронном микроскопах;
- аналитические расчеты и математическое моделирование процессов переноса тепла в нанокompозиты с учетом граничного термического сопротивления, термостабилизации и отвода тепла на базе функциональных материалов;

Основной исполнитель проекта П.Г. Макаров:

- изготовление образцов функциональных материалов и термоинтерфейсов на основе мезоскопических композитов на базе полимеров и микросфер металлов и сплавов;
- тестирование переноса тепла в мезоскопических нанокompозитах;
- будут проведены исследования полученных материалов с применением оптической и электронной микроскопии;
- получение экспериментальных данных по теплопроводности мезоскопических нанокompозитов;
- изучение механических и термомеханических свойства таких материалов при нагрузках сжатия и растяжения;
- впервые будут разработаны и созданы мезоструктурные поверхности, имеющие оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, помещенные в полимерные и другие матрицы; будут исследованы тепловые и гидродинамические эффекты на поверхности подобных материалов;
- для мезоскопических структур будут исследованы режимы смачивания и растекания капель рабочих жидкостей по подобным поверхностям, найдены температурные зависимости контактных углов и гистерезиса, а также влияние по последние морфологии поверхности.

Основной исполнитель С.А. Ромашевский

- изготовление образцов функциональных материалов и термоинтерфейсов с помощью фемтосекундных лазерных импульсов на различных подложках;
- тестирование полученных образцов, проведение оптической и электронной микроскопии с целью установления морфологии и особенностей поверхности;
- изучение механических и термомеханических свойства таких материалов при нагрузках сжатия и растяжения;
- исследование режимов смачивания и растекания капель рабочих жидкостей по подобным поверхностям, найдены температурные зависимости контактных углов и гистерезиса, а также влияние по последние морфологии поверхности.

4.12. Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты (форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов и оценить степень выполнения заявленного в проекте плана работы).

на русском языке

- сравнительный анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований в области создания и изучения функциональных материалов и термических интерфейсов с низким граничным термосопротивлением; представление результатов в форме графиков, таблиц, сравнительных диаграмм, рисунков и морфологических изображений;
- сравнение базовых характеристик основных материалов и выбор методик изготовления новых перспективных материалов; описание методик изготовления материалов, технологическая карта процессов изготовления и регламент режимов получения различных материалов;
- подготовка и написание черновика обзора по результатам исследований;
- проведен анализ методов модификации материалов; подготовлены технологические регламенты для опытного производства образцов подобных материалов; сравнительные характеристики различных методов модификации материалов для задач проекта, карта и схемы технологических регламентов изготовления опытных образцов;
- проведены аналитические расчеты и математическое моделирование процессов термостабилизации и отвода тепла на базе функциональных материалов; результаты математического моделирования, графики основных зависимостей теплопроводности от температуры и объемной доли включений в композиты, роль граничного сопротивления на тепловые характеристики;
- образцы функциональных материалов и термоинтерфейсов на основе получения мезоскопических композитов на базе полимеров и микросфер металлов и сплавов; фотографии, изображения сканирующей и оптической микроскопии;
- изучение механических и термомеханических свойства таких материалов при нагрузках сжатия и растяжения; методики и графики результатов тестирования материалов;
- впервые будут разработаны и созданы мезоструктурные поверхности, имеющие оригинальные компоненты в виде монодисперсных микросфер различного диаметра, помещенные в полимерные и другие матрицы; будут исследованы тепловые и гидродинамические эффекты на поверхности подобных материалов; методики и графики результатов тестирования материалов;
- для мезоскопических структур будут исследованы режимы смачивания и растекания капель рабочих жидкостей по подобным поверхностям; будут представлены температурные зависимости контактных углов и гистерезиса, а также влияние по последние морфологии поверхности;
- изготовление образцов функциональных материалов и термоинтерфейсов с помощью фемтосекундных лазерных импульсов на различных подложках; фотографии образцов, методика изготовления, основные параметры фемтосекундных импульсов и их влияния на морфологию и свойства поверхности;
- тестирование полученных образцов, проведение оптической и электронной микроскопии с целью установления морфологии и особенностей поверхности; изображения сканирующей и оптической микроскопии.

на английском языке

- Comparative analysis of the current status of basic and applied research in the field of creation and study of functional materials and thermal interface boundary with a low thermal resistance; presentation of the results in the form of charts, tables, comparative charts, drawings and morphological images;
- Comparison of the basic characteristics of the basic materials and the choice of manufacturing techniques of advanced materials; description of the manufacturing techniques of materials,

- manufacturing process flow chart and regulation regimes produce different materials;
- Preparation and writing of a draft review of the results of research;
 - Analysis of the modification methods of materials; trained technological regulations for the pilot production of such materials samples; comparative characteristics of various methods of modification of materials for the project objectives, the card schemes and technological regulations prototyping;
 - Held analytical calculations and mathematical modeling of the thermal stabilization process and heat removal on the basis of functional materials; the results of mathematical modeling, graphics core temperature dependences of thermal conductivity and the volume fraction of inclusions in the composite, the role of the thermal boundary resistance characteristics;
 - Samples of functional materials, and thermal interfaces based on the receipt of mesoscopic composites based on polymers and microspheres of metals and alloys; photos, image scanning and optical microscopy;
 - The study of the mechanical and termomehnikeskikh properties of such materials under loads of compression and tension; Testing methods and results graphs materials;
 - The first to be developed and created mesostructural surfaces having the original components in the form of monodisperse microspheres of different diameters, placed in the other polymer matrix; They will be investigated thermal and hydrodynamic effects on the surface of such materials; Testing methods and results graphs materials;
 - For mesoscopic structures will be investigated regimes of wetting and spreading of droplets on surfaces like working fluids; It will be presented to the temperature dependence of the contact angle and hysteresis, and the impact on the surface morphology of the past;
 - Production of functional samples of materials and thermal interfaces using femtosecond laser pulses on different substrates; pictures, manufacturing method, the basic parameters of femtosecond pulses and their effects on the morphology and surface properties;
 - Testing of the samples obtained, holding the optical and electron microscopy to determine the morphology and surface features; image scanning and optical microscopy.

4.13. Перечень планируемых к приобретению за счет гранта оборудования, материалов, информационных и других ресурсов для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

Планируется приобретение следующего оборудования и материалов:

1. Нагреватели типа НВТ - 60 – 2 шт.; для проведения ресурсных и других испытаний термоинтерфейсов.
2. Нагреватели типа ГНВТ-11 – 2 шт.; для проведения ресурсных и других испытаний термоинтерфейсов.
3. Ячейка измерительная для проведения тестов при различных температурах и давлениях окружающей среды; имеет низкотемпературный и высокотемпературный блоки.
4. Материалы и компоненты – исходный графит и структурированный графен, наночастицы, нанопроволоки и нанотрубки.
4. Рабочие жидкости-теплоносители для проведения исследований теплопереноса в теплоносителях с использованием теплообменной поверхности функциональных материалов и интерфейсов.
5. Термопары (различные) для проведения измерений полей температур в нанокompозитах и их сборках.
6. Газы чистые для возможности очистки системы, проведения исследований в различных газовых средах.
7. Трубки медные (3 диаметров); для изготовления каналов подвода газов и жидкостей.
8. Трубки стальные (нержавеющая сталь, 3 диаметров); для изготовления каналов подвода газов и жидкостей.

9. Крепеж; для крепления образцов к поверхностям нагрева, крепления каналов подвода рабочих жидкостей и газов, крепления диагностического оборудования.

4.14. Файл с дополнительной информацией 1

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. В формате pdf, до 3 Мб. Текст в файлах с дополнительной информацией должен приводиться на русском языке. Перевод на английский язык требуется в том случае, если заявитель оценивает данную информацию существенной для эксперта.

Скачать...

4.15. Файл с дополнительной информацией 2 (если информации, приведенной в файле 1 окажется недостаточно)

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. В формате pdf, до 3 Мб.

Подпись руководителя проекта _____ /А.С. Дмитриев/

Форма 5. Запрашиваемое финансирование на 2017 год

5.1. Планируемые расходы по проекту

№ п.п.	Направления расходования гранта	Сумма расходов (тыс.руб.)
	ВСЕГО	4200
	Вознаграждение членов научного коллектива (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды, без лиц категории «вспомогательный персонал»)	2500.0
	Вознаграждение лиц категории «вспомогательный персонал» (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	600.0
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	3100.0
2	Оплата услуг сторонних организаций на выполнение научного проекта (не более 15 процентов от суммы гранта)	0
3	Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (включая монтаж, пуско-наладку, обучение сотрудников и ремонт)	0
4	Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования	680.0
5	Иные расходы для целей выполнения проекта	0
6	Накладные расходы организации (не более 10 процентов от суммы гранта)	420.0

5.2. Расшифровка планируемых расходов

№ п.п.	Направления расходования средств гранта, расшифровка
1	<p>Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды) (указывается сумма вознаграждения (включая руководителя, основных исполнителей и иных исполнителей, привлекаемых к выполнению работ по проекту), включая установленные законодательством Российской Федерации гарантии, отчисления по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование, на обязательное медицинское страхование, на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Руководитель проекта А.С. Дмитриев - 500.0 2. Основной исполнитель Дмитриев А.А. - 450.0 3. Основной исполнитель Макаров П.Г. - 450.0 4. Основной исполнитель Струлева Е.В. - 450.0 5. Исполнитель - 350.0 6. Исполнитель - 300.0 7. Вспомогательный персонал - 300.0 8. Вспомогательный персонал - 300.0
2	<p>Оплата услуг сторонних организаций на выполнение научного проекта (приводится перечень планируемых договоров (счетов) со сторонними организациями с указанием предмета и суммы каждого договора)</p>
3	<p>Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (включая монтаж, пуско-наладку, обучение сотрудников и ремонт) (представляется перечень планируемых к закупке оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования)</p>
4	<p>Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования</p>

(представляется расшифровка запланированных материалов и комплектующих)

Планируется приобретение следующего оборудования и материалов:

1. Нагреватели типа НВТ - 60 – 2 шт.; для проведения ресурсных и других испытаний термоинтерфейсов.
 2. Нагреватели типа ГНВТ-11 – 1 шт.; для проведения ресурсных и других испытаний термоинтерфейсов.
 3. Ячейка измерительная для проведения тестов при различных температурах и давлениях окружающей среды; имеет низкотемпературный и высокотемпературный блоки.
 4. Материалы и компоненты – исходный графит и структурированный графен, наночастицы, нанопроволоки и нанотрубки.
 4. Рабочие жидкости-теплоносители для проведения исследований теплопереноса в теплоносителях с использованием теплообменной поверхности функциональных материалов и интерфейсов.
 5. Термопары (различные) для проведения измерений полей температур в нанокompозитах и их сборках.
 6. Газы чистые для возможности очистки системы, проведения исследований в различных газовых средах.
 7. Трубки медные (3 диаметров); для изготовления каналов подвода газов и жидкостей.
 8. Трубки стальные (нержавеющая сталь, 3 диаметров); для изготовления каналов подвода газов и жидкостей.
 9. Крепеж; для крепления образцов к поверхностям нагрева, крепления каналов подвода рабочих жидкостей и газов, крепления диагностического оборудования.
- 5 Иные расходы для целей выполнения проекта
(приводятся иные затраты на цели выполнения проекта, в том числе на командировки, оплату услуг связи, транспортных услуг, расходы не расшифровываются)

Подпись руководителя проекта _____/А.С.Дмитриев/

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности), **печать организации.**

В случае подписания форм заявки уполномоченным представителем организации к печатному экземпляру заявки прилагается доверенность (копия доверенности, заверенная печатью организации).

_____/_____/

М.П.