



Исследования  
и разработки  
Москва 2016

Приоритетное направление:

**Индустрия наносистем**

Программное мероприятие:

**1.3 «Проведение прикладных научных исследований и разработок, направленных на создание продукции и технологий»**

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

Соглашение № 14.577.21.0206 от 27.10.2015 на период 2015 - 2017 гг.

Тема: «Разработка терморегулирующих покрытий, содержащих неорганические наночастицы, с улучшенными эксплуатационными и адгезионными свойствами для космических аппаратов»

Руководитель проекта: зав. кафедрой наноматериалов и нанотехнологии, член-корр. РАН, профессор Юртов Е.В.

### Получатель субсидии

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

### Индустриальный партнер

Открытое акционерное общество «Композит» (<http://kompozit-mv.ru>)

**Основной вид деятельности** - Научные исследования и разработки в области естественных и технических наук, опытно-технологические разработки по созданию новых материалов и производство: металлических, композиционных полимерных, углеродных и керамических материалов, материалов, получаемых в условиях космического пространства, сертификация, стандартизация и унификация материалов ракетно-космической техники и др.

**Роль в проекте** - изготовление экспериментальных образцов на основе эмалевых композиций, проведение испытаний терморегулирующих покрытий стойкость к воздействию факторов космического пространства и др.

### Ожидаемые результаты проекта

В ходе ПНИ будет разработан комплекс экспериментальных технологий, который создаст научные основы выбора состава, организации структуры и технологии получения терморегулирующих покрытий нового типа, модифицированных наночастицами различного состава ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@SiO_2$ ,  $\text{ZnO}@SiO_2$ ), заданного размера и формы.

Наномодифицированные ТРП на основе разработанных эмалевых композиций будут удовлетворять следующим требованиям:

- коэффициент поглощения солнечного излучения,  $\alpha_s$  (для класса «солнечный отражатель»  $\leq 0,30$ ; для «истинный поглотитель»  $\geq 0,95$ );
- коэффициент теплового излучения для класса «солнечный отражатель»  $\geq 0,90$ ; для «истинный поглотитель»  $\geq 0,92$ );
- адгезия покрытия не менее 2 балла;
- устойчивость к термоциклированию от  $-150$  до  $+150$  °С, не менее 20 циклов;
- газовыделение в условиях космического пространства:
  - общая потеря массы, ОПМ, не более 1,0%;
  - летучие конденсирующиеся вещества, ЛКВ не более 0,1%;

### Цели и задачи проекта

1. Разработка технологии получения наночастиц  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$  заданного размера, формы, структуры;
2. Разработка способов введения наночастиц в рецептуру эмалевой композиции для последующего нанесения терморегулирующих покрытий;
3. Разработка наномодифицированных терморегулирующих покрытий (ТРП) с повышенными механическими, оптическими, эксплуатационными характеристиками и улучшенными специальными свойствами.

### Перспективы практического использования

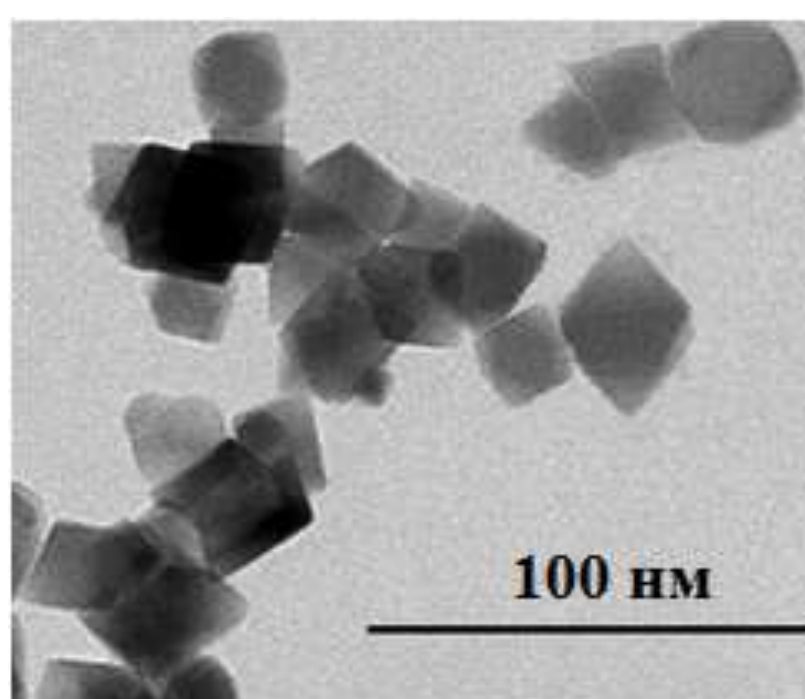
Результаты проекта могут быть использованы для создания поглощающих и отражающих покрытий с улучшенными оптическими с улучшенными оптическими, электрофизическими и адгезионными свойствами.

Данные покрытия могут быть использованы в гелиоэнергетике и аналогичных областях.

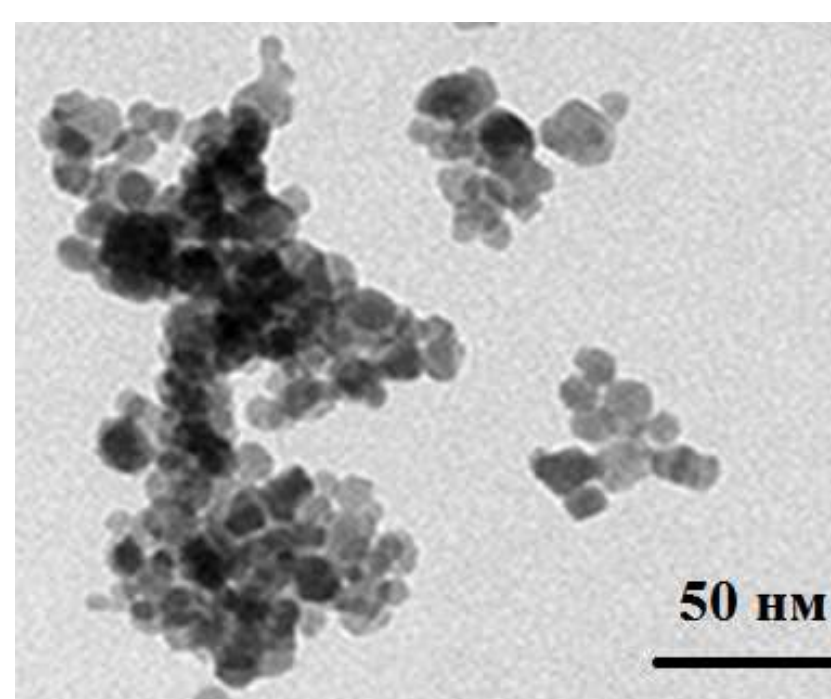
Внедрение ожидаемых результатов обеспечит снижение массы выводимых аппаратов, повысит длительность их функционирования в условиях космического пространства.

### Текущие результаты проекта

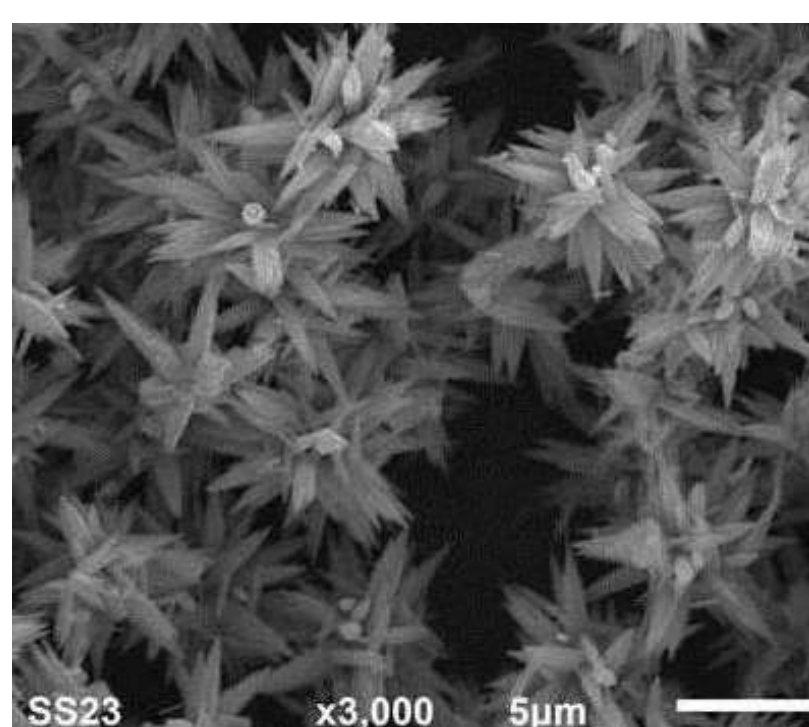
Наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$



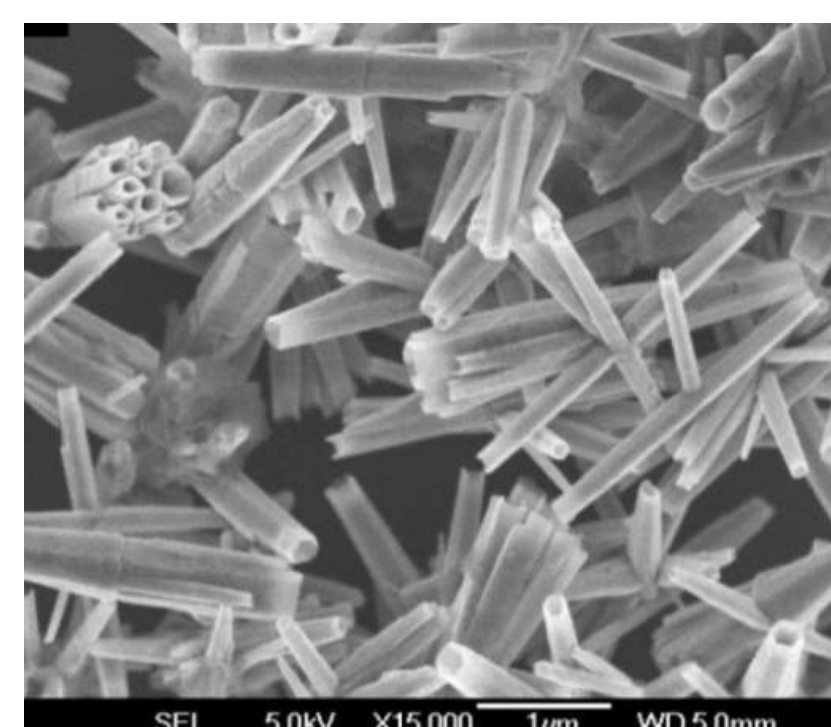
Наночастицы  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$



Частицы  $\text{ZnO}$   
цветочноподобной формы



Частицы  $\text{ZnO}$   
стержнеобразной формы



1. Установлено влияние параметров синтеза (температура, концентрация и соотношение солей железа, воздействие ультразвука) на размер, форму и состав образующихся наночастиц  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$ ;
2. Разработана методика получения наночастиц  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с размером от 5 до 100 нм и частиц  $\text{ZnO}$  размером от 10 до 300 нм с контролируемой формой анизотропии;
3. Выбраны и исследованы компоненты для создания рецептур эмалевых композиций;
4. Определены исходные оптические и электрофизические характеристики и проведены испытания на стойкость к протонному излучению пигментов, наполнителей и пленкообразующих;
5. Изготовлены лабораторные эмалевые композиции с частицами  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$  заданного размера и формы;
6. Определены технологические свойства лабораторных эмалевых композиций. Установлено, что введение частиц в состав рецептур эмалей и эмалевых композиций не оказывает влияния на изменение их технологических характеристик;
7. Определены оптические, электрофизические и адгезионные характеристики полученных покрытий. Введение частиц в состав эмалевых композиций повышает адгезию к алюминиевому сплаву АМг6 от 2-х до 1 балла. - результаты определения оптических и электрофизических характеристик покрытий показали, что наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  увеличивают коэффициент поглощения солнечного излучения  $\alpha_s$  покрытий. Частицы  $\text{ZnO}$  увеличивают коэффициент поглощения солнечного излучения  $\alpha_s$  черных покрытий и не изменяют значение коэффициента поглощения солнечного излучения  $\alpha_s$  белых покрытий. При введении частиц увеличивается коэффициент теплового излучения  $\epsilon$  белых и черных покрытий.
8. Разработаны методики получения наноструктур  $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@SiO_2$ ,  $\text{ZnO}@SiO_2$  с контролируемым размером ядра и толщиной оболочки;
9. Изготовлены эмалевые композиции с наноструктурами  $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@SiO_2$ ,  $\text{ZnO}@SiO_2$  для последующего нанесения терморегулирующих покрытий;
10. Разработана программа и методики испытаний покрытий на стойкость к отдельным факторам космического пространства.
11. Определены коэффициент поглощения солнечного излучения  $\alpha_s$ , коэффициент теплового излучения  $\epsilon$ ), удельное объемное электрическое сопротивление  $\rho_v$  характеристик образцов на основе эмалевых композиций, содержащих наноструктуры  $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@SiO_2$ ;
12. Разработана методика получения ТРП на основе оптимальных рецептур эмалевых композиций;
13. Исследована кинетика газовыделения покрытий на основе разработанных эмалевых композиций;
14. Проведены испытания покрытий на стойкость к отдельным факторам космического пространства.