

**Основные результаты, достигнутые в ходе выполнения проекта  
в соответствии с Соглашением о предоставлении субсидии  
от 22.08.2014 г. № 14.595.21.0002**

**I. В результате выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 22.08.2014 г. № 14.595.21.0002 развита инфраструктура и расширены возможности ЦКП ФГУП «ВИАМ» по проведению испытаний и исследований, для этих целей приобретено исследовательское и испытательное оборудование:**

**За счет бюджетных средств:**

- Испытательный стенд для механических испытаний Walter+bai ag в коррозионноактивных средах в условиях статического и малоциклового нагружения ;
- Горизонтальный стенд Walter+bai ag для испытаний большеразмерных, конструктивно-подобных образцов и элементов конструкций на силовом полу ГЦКИ им. Г.В. Акимова
- Оптический микроскоп для исследования структуры материалов OLYMPUS GX51
- Установка для ионной полировки образцов Fischione 1060 SEM Mill
- Камера для испытаний в сероводороде WK3-340/0-BSB
- Климатическая камера для имитации годового цикла с системой излучения с металлогалогенной лампой Climats модели Excal 1000 AC-SUN

**За счет внебюджетных средств:**

- Электродинамическая испытательная машина ElectroPuls фирмы Instron для нанесения усталостных трещин перед коррозионными испытаниями.
- Две испытательные машины рычажного типа Карра 50 LA Zwick Roell для испытаний на длительную прочность и ползучесть

**II. Выполнение работ по соглашению с Минобрнауки России дало новый импульс развитию ЦКП «Климатический центр коллективного пользования ФГУП «ВИАМ» по испытаниям материалов, техники и сложных технических систем в природных средах» и позволило сформировать новые научные направления исследований и испытаний, проводимых в ЦКП:**

- Исследования материалов элементов конструкций из ПКМ на стойкость к биообрастанию в условиях акватории Черного моря;
- Комплексные испытания конструкций типа «сэндвич» из ПКМ при статических и повторно-статических нагрузениях с учетом влияния климатического воздействия;
- Электрохимические исследования алюминиевых сплавов в сульфидсодержащих средах;
- Испытания циклической долговечности (работоспособности) материалов при воздействии сероводорода.
- Коррозионные испытания материалов и конструкций при воздействии атмосферы с наличием сероводорода.
- Исследования деградации защитных свойств комбинированных покрытий под воздействием сероводорода при ускоренных и натуральных испытаниях методом импедансной спектроскопии.
- Исследования механизма замедленного разрушения сплавов в коррозионноактивных средах при нормальной температуре.
- Испытания малоциклового усталости сплавов в коррозионноактивных электролитах.

**В результате выполнения проекта разработаны:**

- Стандарт организации СТО 1-595-591-497-2015 «Оценка стойкости к биообрастанию материалов элементов конструкций из ПКМ».
- Стандарт организации (СТО) по испытанию конструкций типа «сэндвич» из ПКМ при статических и повторно-статических нагрузениях с учетом влияния климатического воздействия.
- Стандарт организации СТО 1-595-7-471-2015 «Проведение электрохимических исследований алюминиевых сплавов в сульфидсодержащих средах», дата введения 18 мая 2015 года.
- Стандарт организации СТО 1-595-7-475-2015 «Определение циклической долговечности (работоспособности) материалов при воздействии сероводорода», дата введения 18 мая 2015 года.
- Стандарт организации СТО 1-595-7-501-2015 по проведению коррозионных испытаний материалов и конструкций при воздействии атмосферы с наличием сероводорода;
- Стандарт организации СТО 1-595-7-500-2015 по определению деградации защитных свойств комбинированных покрытий под воздействием сероводорода при ускоренных и натуральных испытаниях методом импедансной спектроскопии;

- Стандарт организации СТО 1-595-30-468-2015 «Методика проведения испытаний на замедленное разрушение образцов сплавов в коррозионно-активных средах при нормальной температуре», дата введения 18.05.2015 г.
- Стандарт организации СТО 1-595-30-474-2015 «Методика проведения испытаний на малоцикловую усталость образцов сплавов в коррозионно-активных средах при нормальной температуре», дата введения 28.05.2015 г.
- Атлас фрактограмм статического и малоциклового усталостного разрушения материалов в условиях воздействия коррозионных сред;
- Атлас повреждений конструкционных материалов и функциональных покрытий по механизмам коррозии, старения, биоповреждения.

**В рамках реализации программы развития ЦКП освоены методики измерений:**

- - Методика измерений массовой доли легирующих элементов и примесей в никелевых сплавах оптико-эмиссионным методом анализа;
- - Методика измерений массовой доли вредных примесей в никелевых сплавах масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой с гидридной генерацией паров;
- - Методика измерений массовой доли элементов (Mg, Li, Ca, R, Na, Ba, Sr) в алюминиевых сплавах атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой;
- - Методика измерений массовой доли элементов (Fe, Ni, Ti, Zr, Be, Ag) в алюминиевых сплавах атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой;
- - Методика измерений массовой доли поверхностного и объемного водорода в алюминии и низколегированных алюминиевых сплавах методом нагрева в токе инертного газа;
- - Методика измерений объемной доли микродисперсной фазы в полимерной матрице методом РЭМ;
- - Методика измерений локального химического состава фаз методом микрорентгеноспектрального анализа в материалах системы РЗМ-Fe-Co-B;
- - Методика измерений массовой доли элементов (Bi, V, Pb, Sn, Sb, As) в алюминиевых сплавах атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой;
- - Методика измерений массовой доли элементов (Ce, Y, Sc, Nd, La, Pr) в алюминиевых сплавах атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой;

- - Методика измерений массовой доли поверхностного и объемного водорода в магний- и литийсодержащих алюминиевых сплавах методом нагрева в токе инертного газа;
- - Методика измерений массовой доли легирующих элементов и примесей в никелевых сплавах рентгенофлуоресцентным методом анализа;
- - Методика измерений массовой доли вредных примесей и редкоземельных элементов в никелевых сплавах масс-спектрометрией с лазерным пробоотбором;
- - Методика измерений объемной доли микродисперсной фазы на границе раздела фаз волокно/матрица методом РЭМ;
- - Методика измерений объемной характеристик пор в углепластиках методом СЛМ;
- - Методика измерений параметров кристаллической структуры методом рентгеноструктурного анализа в термостабильных магнитотвердых материалах системы РЗМ-Fe-Co-B;

**Для выполнения пунктов ТЗ Соглашения о предоставлении субсидии от 22.08.2014 г. № 14.595.21.0002 проведены работы:**

1. Изготовлены панели типа «сэндвич» для испытаний на 4-х точечный изгиб при статических и повторно-статических нагружениях (всего 60 шт.), в том числе 16 образцов выставлены в ГЦКИ на натурную экспозицию, 24 образцов выставлены для ускоренных тепловлажностных лабораторных испытаний по режиму: температура – плюс 60 °С, влажность – 85 %.
2. Исследованы закономерности деформирования элементов крупногабаритных конструкций из ПКМ при статических и повторно-статических (по 10 и 1000 циклов по режиму  $650 \pm 430$  Н) нагружениях при изгибе в лабораторных условиях.
3. Организацией-соисполнителем МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках составной части НИР «Разработка математических моделей оценки жесткости, несущей способности и повреждаемости элементов конструкций из ПКМ при воздействии силовых нагрузок и климатических факторов» разработана математическая модель оценки жесткости и несущей способности панелей типа «сэндвич» с пенозаполнителем и обшивками из углепластика и стеклопластика, учитывающая микромеханические процессы деформирования матрицы, армирующего наполнителя, пенозаполнителя.
4. Проведены исследования долговечности, степени коррозионных повреждений, защитных характеристик покрытий на образцах углепластика ВКУ-27л, сплавов Д16Т Ан.Окс.нхр, 30ХГСА Ц9 и М1 пасс, а также конструктивно-подобных элементов из этих материалов, выставленных в Геленджикской бухте акватории Черного моря на подводном испытательном стенде.
5. Проведено исследование кинетики старения углепластика ВКУ-27л в условиях ускоренных лабораторных климатических испытаний теплофизическими методами

исследований, исследование механических свойств, исследование состояния поверхности образцов методами оптической и электронной микроскопии, исследование изменения свойств углепластика в результате микологического воздействия.

6. Проведены работы по определению коррозионного поведения систем материалов на основе Al, Cu и Fe с наличием защитных покрытий в условиях влияния сероводорода и влажности.

7. Получены экспериментальные данные для выявления закономерностей по влиянию концентрации сероводорода и времени выдержки на характер и степень коррозионных поражений.

8. Проведены исследования электрохимического поведения алюминиевых сплавов в сульфидсодержащих средах.

9. Выполнено исследование коррозионного поведения систем материалов на основе Al, Cu и Fe с наличием защитных покрытий в условиях влияния H<sub>2</sub>S и влажности. Получены кинетические кривые скорости коррозии на образцах из Д16Т, 30ХГСА Ц9 и М1 пасс в средах с различным содержанием сероводорода. Показано, что присутствие сероводорода ускоряет коррозию Cu и Fe, скорость коррозии Al и Fe с цинковым покрытием немного уменьшается.

10. Проведено исследование электрохимического поведения алюминиевого сплава Д16Т в сульфидсодержащих средах. Получены значения потенциалов коррозии, анодные поляризационные кривые. Наличие сульфида в растворе NaCl сдвигает потенциал коррозии в отрицательную сторону, что способствует увеличению стойкости Al сплава к питтинговой коррозии. Разработан метод определения потенциала пробоя алюминиевых сплавов в хлорид и сульфидсодержащих средах.

11. Проведены исследования по измерению показателей эффективности защитных покрытий на образцах из Д16Т Ан.Окс.нхр.+ЛКП методом импедансной спектроскопии. Получены импедансные спектры, образцы выставлены на укорённые и натурные испытания.

12. Освоен испытательный стенд производства Walter+bai ag (Швейцария) и метод испытаний по разработанному СТО 1-595-30-468-2015.

13. Определена зависимость коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины, развивающейся по механизму замедленного разрушения в морской воде  $K_{Iзр}$  двухфазных титановых сплавов ВТ6 и ВТ3-1 от скорости нагружения образцов.

14. Определена зависимость скорости роста трещины по механизму замедленного разрушения в коррозионно-активной среде  $V_{зр}$  от величины коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины  $K_{Iзр}$  двухфазного титанового сплава ВТ3-1.

15. Определено максимальное значение скорости роста трещины  $V_{зрmax}$ , при котором реализуется механизм замедленного разрушения двухфазного титанового сплава ВТ3-1.

16. Определено минимальное значение коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Izrmin}$ , при котором начинается движение трещины по механизму замедленного разрушения в морской воде в двухфазном титановом сплаве ВТЗ-1.

17. Проведено исследование кинетики старения и биоповреждения в натуральных условиях различных геофизических сред Черного моря материалов элементов крупногабаритных конструкций из ПКМ, в том числе с учетом механического воздействия.

18. В рамках выполнения программы развития реализован план мероприятий по обеспечению достоверности и единства измерений, включающий поверку, калибровку 60 средств измерений, освоение 15 методик измерений.

19. Осуществлен комплекс мероприятий по обеспечению доступности и востребованности оборудования ЦКП, включающий в себя актуализацию Интернет-сайта ЦКП, издание буклета о деятельности ЦКП, актуализацию Интернет-страницы ЦКП на портале Федерального каталога ЦКП и рекламу деятельности ЦКП на конференциях, в том числе международных.

В результате выполнения проекта развита инфраструктура ЦКП «Климатические испытания» ФГУП ВИАМ - уникального исследовательского комплекса мега-класса, позволяющий системно решать задачи по изучению влияния агрессивных сред, климатических и эксплуатационных факторов на кинетику процессов коррозии, старения, биоповреждения и разрушения функциональных материалов и покрытий.

Для развития инфраструктуры и функциональных возможностей ЦКП ФГУП «ВИАМ» совместно с ведущими университетами России созданы совместные лаборатории:

- - Совместная лаборатория коррозионных испытаний с МГТУ имени Н.Э. Баумана (Приказ № 80 от 05 марта 2012 г.).
- - Совместная лаборатория климатических испытаний с МГУ имени Н.П. Огарева (Приказ № 88 от 14 марта 2012 г.).
- - Совместная лаборатория с Кубанским государственным университетом (Приказ. № 237 от 23 мая 2012 г.) по изучению процессов коррозии и механики разрушения материалов.
- - Совместная лаборатория с Таврическим национальным университетом имени В.И. Вернадского (Приказ № 181/71 от 5 мая 2014 года) по изучению процессов коррозии, старения и биоповреждения материалов в условиях Черноморского побережья и морских акваторий.

- - Совместная лаборатория с Самарским государственным аэрокосмическим университетом имени академика С.П. Королева (СГАУ) (Приказ № 382/1 от 6 сентября 2014 г.) по исследованию защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов и сложных технических систем.

**Отличная техническая оснащенность и квалифицированный персонал ЦКП «Климатические испытания» ФГУП ВИАМ позволяет Центру активно участвовать в реализации приоритетных направлений развития науки, техники и технологий.**

**Системный подход и комплексность исследований позволяет не только проводить натурную экспозицию материалов и образцов, но моделировать наиболее значимые факторы климатического воздействия, разрабатывать методики ускоренных испытаний новых материалов и покрытий, проводить фундаментально-ориентированные исследования механизмов повреждения и микромеханики разрушения материалов и покрытий после натуральных и ускоренных испытаний.**