

## ФУНДАМЕНТАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

---

УДК 620.1

А.Н. Луценко<sup>1</sup>, Н.С. Перов<sup>1</sup>, Е.Б. Чабина<sup>1</sup>

### НОВЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-460-468

*Рассмотрено современное состояние Испытательного центра ФГУП «ВИАМ». Главным направлением развития Испытательного центра на ближайшие несколько лет будет дальнейшее повышение сложности проводимых комплексных испытаний и исследований взаимосвязи «структура–свойство» материалов на субатомном, нано-, микро-, мезо- и макроуровне. Планируется разработка методик по проведению испытаний изделий и материалов, созданных с использованием современных аддитивных технологий и технологий искрового плазменного спекания.*

*Работа выполнена в рамках реализации комплексных научных направлений 2. «Фундаментально-ориентированные исследования, квалификация материалов, неразрушающий контроль» и 18. «Климатические испытания для обеспечения безопасности и защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов, конструкций и сложных технических систем в природных средах» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].*

**Ключевые слова:** *испытания авиационных материалов, фундаментальные исследования, структура, старение, высокие температуры, композиционные материалы, керамические материалы.*

A.N. Lutsenko, N.S. Perov, E.B. Chabina

### The new stages of development of Testing Center

*The current state of Testing Center FSUE «VIAM» are reviewed. The main development trend of Testing Center (TC) for the next few years will be further increase in complexity of the integrated tests and studies of the relationship*

---

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

*«composition–structure–property» of materials at subatomic, nano-, micro-, meso- and macrolevels. TC plans to develop methods for testing of products and materials, created with the use of novel additive and spark plasma sintering technologies.*

*The work has been performed within the framework of an integrated research areas 2. «Fundamentally oriented research, qualification of materials, non-destructive testing» and 18. «Environmental testing for safety and protection against corrosion, aging and biodegradation of materials, structures and complex technical systems in natural environments» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].*

**Keywords:** *aviation materials test, fundamental research, structure, aging, high temperature, composites, ceramics.*

Основным направлением деятельности Испытательного центра ФГУП «ВИАМ» является проведение физико-механических, теплофизических, лабораторных и натурных климатических квалификационных испытаний металлических, неметаллических и композиционных материалов для авиационной, ракетно-космической и специальной техники в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов.

В компетенцию Испытательного центра также входит: проведение арбитражных испытаний; исследование и контроль элементного и фазового состава сталей и сплавов на различных основах; определение массовой доли водорода в сварных швах, в поверхностных слоях материалов и изделий после различных видов обработки; проведение экспертных работ по подтверждению соответствия элементного и фазового составов материалов; разработка методик неразрушающего контроля деталей и конструкций; контроль производства стандартных образцов состава материалов; обеспечение контроля качества полуфабрикатов и готовой продукции, производимых во ФГУП «ВИАМ» [2–4].

Входящие в состав Испытательного центра Московский и Геленджикский (им. Г.В. Акимова) центры климатических испытаний обеспечивают проведение климатических испытаний с имитацией эксплуатационных нагрузок для определения параметров работоспособности материалов и построения прогнозных моделей их изменения [1, 5, 6].

Испытательный центр ФГУП «ВИАМ» участвует в реализации перспективных междисциплинарных исследовательских проектов по приоритетным направлениям развития науки и технологий Российской Федерации, проводит фундаментально-ориентированные исследования конструкционных и функциональных материалов, различных защитных и функциональных покрытий, обеспечивая тем самым повышение результативности исследований, проводимых лабораториями – разработчиками материалов авиационно-космического назначения.

В 2012–2016 гг. возможности Испытательного центра расширены в результате переоснащения его лабораторий новейшим исследовательским и испытательным оборудованием ведущих мировых производителей – по совокупности возможностей Центр не имеет аналогов на территории России.

В настоящее время в Испытательном центре проводятся более 500 видов исследований и испытаний по российским и зарубежным стандартам, в которых задействовано более 1100 единиц оборудования. В части испытаний и исследований новейших материалов потенциал Испытательного центра сопоставим с мировыми исследовательскими центрами аэрокосмической направленности: Langley Reseach Center (США), ONERA (Франция), DLR (Германия), QinetiQ (Великобритания) и NLR (Голландия).

В Испытательном центре ФГУП «ВИАМ» работают 7 докторов наук, 37 кандидатов наук, более 400 высококвалифицированных специалистов Центра аттестованы в качестве испытателей.

Высокая квалификация сотрудников и отличная техническая оснащенность отличают Испытательный центр ФГУП «ВИАМ» от других отраслевых испытательных лабораторий, что позволяет не только решать разноплановые практические задачи, но и принимать участие в научно-исследовательских изысканиях по фундаментальным и перспективным направлениям материаловедения.

В лабораториях Испытательного центра проводятся фундаментально-ориентированные и прикладные исследования, направленные на установление взаимосвязи «состав–структура–свойство» в материалах авиационного назначения, с использованием методов физико-химического анализа, металлографических, электронно-микроскопических, рентгеноструктурных и теплофизических методов исследования структуры материалов, физико-механических испытаний.

Испытательный центр ФГУП «ВИАМ» играет ведущую роль в межведомственной кооперации Российской академии наук, ведущих вузов страны и предприятий промышленности при проведении климатических испытаний. В рамках международного сотрудничества Испытательный центр включен в международную сеть климатических испытаний ATLAS Material Testing Technology LLC, сотрудничает с компанией Q-lab для проведения испытаний в жарком сухом и субтропическом климатах в штатах Аризона и Флорида (США).

### **Задачи Испытательного центра на краткосрочную перспективу**

Приоритетные задачи Испытательного центра в настоящее время следующие [2, 3, 7]:

– проведение исследований, экспериментального и теоретического моделирования процессов формирования и изменения структуры

материалов, изучение механизмов деформации, зарождения трещин, исследование процессов разрушения металлических, интерметаллидных, керамических и полимерных композиционных материалов (ПКМ), защитных и функциональных покрытий под действием различных факторов (температура, нагрузка, излучение);

– проведение испытаний и исследований статической и циклической прочности материалов в условиях, имитирующих условия эксплуатации при температурах до 1800°C и долговечностях до 10 тыс. ч;

– проведение исследований теплофизических свойств материалов в интервале температур от -196 до +2400°C, расчет процессов распространения тепла в композиционных материалах в температурно-временных условиях, соответствующих эксплуатационным;

– диагностика состояния объектов повышенной опасности в различных климатических условиях с применением новых чувствительных датчиков и методов неразрушающего контроля;

– проведение квалификационных испытаний на коррозию, старение, стойкость к биологическим факторам в различных средах, проведение натурной экспозиции материалов авиационной техники в различных климатических зонах Российской Федерации, включая арктическую зону;

– разработка методик измерений массовой доли элементов в сплавах на различных основах и стандартных образцов состава перспективных наноструктурированных, композиционных и интерметаллидных материалов;

– обеспечение возможности применения новых методов расчета ресурса, учитывающих вероятность разрушения деталей из-за дефектов, пропущенных при неразрушающем контроле (НК), разработка методик применения интеллектуальных материалов в комплексе с традиционными методами НК для диагностики конструкций.

### **Основные векторы развития и планируемые на 2017–2020 гг. научные задачи**

Одним из важнейших направлений развития Испытательного центра в 2017–2020 гг. будет дальнейшее повышение качества и сложности проводимых исследований, направленных на контроль структуры создаваемых высокотехнологичных материалов на субатомном, нано-, микро-, мезо- и макроуровне, разработка методик по проведению испытаний материалов и изделий, созданных с использованием современных аддитивных технологий и технологий искрового плазменного спекания [8, 9].

Разработка и внедрение в конструкциях и двигателях перспективных летательных аппаратов керамических и композиционных материалов ставит в число наиболее актуальных задач проведение и разработку стандартов высокотемпературных испытаний при температурах до 1800°C [10, 11].

Другие не менее важные направления – разработка и обоснование методов натурно-ускоренных испытаний материалов и элементов конструкций, построение функциональных зависимостей «материал–климат–время–физико-механические свойства» для создания прогнозных моделей определения сроков безопасной эксплуатации материалов в изделии.

В среднесрочной перспективе до 2020 г. развитие Испытательного центра будет направлено на решение следующих научных задач.

***В области металлофизических исследований***

– 3D-реконструкция распределения структурных элементов и установление механизмов формирования структуры кристаллических и некристаллических материалов в ходе фазовых превращений, деформации и разрушения с применением методов моделирования, высокоразрешающих (до 0,1 нм) методов аналитической электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа.

– Исследование процессов развития обратимых и необратимых изменений в материалах деталей газотурбинных двигателей и планера в процессе эксплуатации с целью моделирования их структурной стабильности и определения предельного структурного состояния, определяющих безопасную эксплуатацию авиационной техники.

– Исследование процессов формирования структуры и текстуры металлических материалов в процессе селективного лазерного сплавления (СЛС) для создания научных основ получения заданной бездефектной структуры для обеспечения заданных свойств.

***В области исследований теплофизических свойств материалов***

– Решение методических задач по обеспечению экспериментальных исследований комплекса теплофизических свойств композиционных материалов.

– Разработка физических моделей по схеме «технология–структура–свойства» для оптимизации эксплуатационных характеристик композиционных материалов; численное решение задач, возникающих при оценке работоспособности материалов и элементов конструкций.

– Экспериментальное исследование и расчет параметров для оптимизации процессов отверждения многослойных пакетов препрегов с целью получения материалов с гарантированным уровнем свойств.

– Моделирование и расчет теплопереноса в теплозащитных конструкциях с учетом процессов деструкции в материалах.

– Экспериментальные исследования и расчет теплопереноса в теплоизоляционных конструкциях с радиационными экранами.

– Разработка методик комплексных испытаний материалов по критериям совокупности теплопроводности, термостойкости, химической стойкости, стойкости к скоростному напору.

***В области физико-химических исследований***

– Физико-химические исследования структурных изменений на макро-, мезо-, микро- и наноуровнях в условиях тепловлажностного воздействия и установление влияния этих изменений на свойства композиционных материалов.

– Решение научных задач по определению влияния атомно-молекулярного и фазового строения на эволюцию структуры многокомпонентных неметаллических материалов при лабораторных и натуральных климатических испытаниях.

– Физико-химические исследования влияния эксплуатационных факторов и воздействия окружающей среды на свойства сплавов и композиционных материалов.

– Исследования термохимической стойкости неметаллических материалов нового поколения.

***В области механики разрушений***

– Исследование кинетики и механизма разрушения жаропрочных никелевых и титановых сплавов в коррозионно-активных средах в условиях статического нагружения.

– Исследование малоциклового усталости жаропрочных никелевых и титановых сплавов в коррозионно-активных средах.

– Исследования механики разрушения изделий из жаропрочных никелевых и титановых сплавов, полученных с использованием аддитивных технологий.

– Исследование закономерностей деформирования при испытаниях на растяжение и ползучесть конструкционных полимерных материалов с аморфной и частично кристаллической структурой в области развития высокоэластической деформации и построение границ областей релаксационного поведения.

– Исследование кинетики крейзообразования в оптически прозрачных конструкционных полимерных материалах при различных условиях нагружения и воздействия температур.

– Исследование закономерностей деформирования и крейзообразования конструкционных термопластичных полимерных материалов в области развития высокоэластической деформации.

– Исследование совместного влияния воздействия механических нагрузок и климатических факторов на скорость роста трещины усталости (СРТУ).

– Разработка методик по определению расчетных характеристик СРТУ в условиях воздействия коррозионных (агрессивных) сред.

– Исследование влияния коррозионного воздействия на СРТУ в большемерных образцах металлических материалов в лабораторных и натуральных условиях.

– Исследования процессов деформирования и разрушения керамических конструкционных материалов в условиях статического и циклического нагружения при температурах до 1600°С.

***В области неразрушающего контроля и новых систем контроля для мониторинга состояния и испытаний конструкций в процессе эксплуатации***

– Разработка новых методик проведения томографических методов рентгеновского контроля деталей и элементов конструкций сложной формы, полуфабрикатов с анизотропией свойств.

– Разработка методов контроля металлических материалов и изделий, полученных по аддитивным технологиям, в том числе с использованием микрофокусных методов рентгеновского контроля.

– Решение научных задач по использованию внедренных датчиков коррозии и функциональных сенсорных элементов для мониторинга состояния сложных технических изделий при их эксплуатации.

– Развитие комплексных испытаний крупногабаритных конструкций из ПКМ со встроенными сенсорными и информационными элементами при статических и повторно-статических нагружениях с учетом влияния климатического воздействия.

***В области исследований влияния климатических факторов, моделирования факторов воздействия окружающей среды и комплексной защиты материалов***

– Решение научных задач по исследованию систем защиты и механизмов коррозии, старения и биодеструкции конструкционных материалов и функциональных покрытий в различных средах и в различных климатических зонах земного шара.

– Климатические испытания образцов ПКМ с ударными повреждениями, развитие методов исследования сохраняемости физико-механических свойств композиционных материалов для применения в холодном и очень холодном климатах.

– Развитие испытаний (лабораторных и натуральных) материалов и конструктивно-подобных элементов с имитацией «полетного цикла» на основе предполагаемых условий эксплуатации конкретного узла и изделия в целом: воздействие многократных перепадов температур; воздействие механических (статических постоянных длительных и знакопеременных циклических) нагрузок (в том числе при отрицательных температурах); изменение атмосферного давления.

– Развитие методов оценки огнестойкости и огнестойкости материалов и конструктивно-подобных элементов, в том числе с учетом эксплуатационных факторов (механические нагрузки, вибрация).

– Разработка методов количественной оценки состояния поверхности и физико-механических характеристик материалов на всех стадиях развития процессов коррозии, старения и биоповреждений.

– Разработка методологии прогнозирования и математических моделей сохраняемости свойств материалов с учетом средств комплексной противокоррозионной защиты.

– Решение научных задач повышения коррозионной стойкости изделий, полученных с использованием аддитивных технологий.

В долгосрочной перспективе в числе приоритетных задач Испытательного центра значатся:

– разработка новых подходов математического моделирования и конструирования на наноуровне высокотемпературных керамических и металлических композиционных материалов, распространение прогнозных оценок на реальные режимы эксплуатации, участие в разработке методик проведения полномасштабных испытаний и конструктивно-подобных элементов с целью подтверждения характеристик, полученных в результате моделирования;

– проведение исследований предельного состояния материалов и конструкций в атмосфере, гидросфере, космическом пространстве; выработка рекомендаций по снижению уязвимости сложных технических изделий и повышение уровня их надежности; проведение экспериментальных исследований, направленных на разработку теоретических подходов к описанию предельного состояния материалов;

– разработка единой методологии проведения климатических испытаний и формирование единого информационно-коммуникационного пространства для обеспечения национальной сети климатических центров стандартами проведения испытаний, унификации протоколов хранения и передачи данных;

– разработка систем диагностики и автоматизированного мониторинга объектов повышенной опасности с применением чувствительных датчиков сложной конфигурации.

В настоящее время Испытательный центр является динамично развивающейся структурой ФГУП «ВИАМ», уникальным по совокупности возможностей центром исследований и испытаний материалов авиационно-космической техники, соединяющим передовые методы проведения комплексных испытаний с прикладными и фундаментальными научными исследованиями, направленными на разработку новых перспективных материалов. Потенциал Испытательного центра ФГУП «ВИАМ» востребован не только в авиационно-космической, но и в судостроительной, атомной отраслях промышленности, в нефтегазовом секторе экономики и на транспорте.



ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
3. Летов А.Ф., Карачевцев Ф.Н., Гундобин Н.В., Титов В.И. Разработка стандартных образцов состава сплавов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 393–398.
4. Каблов Е.Н., Морозов Г.А., Крутиков В.Н., Муравская Н.П. Аттестация стандартных образцов состава сложнолегированных сплавов с применением эталона // Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 9–11.
5. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
6. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
7. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С., Анчевский И.Э., Ильин В.В., Вальтер Р.С. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ // Сб. докл. IX Междунар. науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2012». 2012. С. 122–123.
8. Ерасов В.С., Яковлев Н.О., Автаев В.В. Современное состояние лаборатории имени профессора С.И. Кишкиной // Авиационные материалы и технологии. 2014. №54. С. 136–139. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s4-136-139.
9. Чабина Е.Б., Алексеев А.А., Филонова Е.В., Лукина Е.А. Применение методов аналитической микроскопии и рентгеноструктурного анализа для исследования структурно-фазового состояния материалов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №5. Ст. 06. URL: <http://www/viam-works.ru> (дата обращения: 31.10.2016).
10. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // Авиационные материалы и технологии. 2013. №51. С. 3–9.
11. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С. Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 20–24.