

VT18У / В сб. статей второй Международ. конф. «Деформация и разрушение». М. 2007. С. 301–303.

6. *Кашапов О.С., Ночовная Н.А., Павлова Т.В., Проходцева Л.В.* Особенности характера разрушения и структурно-фазового состояния нового жаропрочного титанового сплава // *Технология легких сплавов*. 2007. № 2. С. 39–42.

7. *Проходцева Л.В., Павлова Т.В., Рощина И.Н., Марчукова Н.В.* Кинетика и фрактографические особенности разрушения дисков компрессора из сплава VT18У / В сб. тезисы докл. на Международ. конф. «Актуальные вопросы авиационного материаловедения». М.: ВИАМ. 2007. С. 130.

8. *Nochovnaya N., Pavlova T., Antachev V., Kashapov O.* Study of fracture Mechanisms of new VT41 high temperature titanium alloy at various conditions / The IIth world conference on titanium (Japan). 2007. P. 79.

9. *Миронов С.Ю., Даниленко В.Н., Мышляев М.М., Корнева А.В.* Анализ пространственного распределения ориентировок элементов структуры поликристаллов, получаемого методами просвечивающей электронной микроскопии // *ФТТ*. 2005. Т. 47. № 7. С. 1217–1225.

10. *Миронов С.Ю., Мышляев М.М.* Анализ эволюции дислокационных границ в ходе холодной деформации микрокристаллического титана // *ФТТ*. 2007. Т. 49. № 5. С. 815–821.

В.Н. КИРИЛЛОВ, О.В. СТАРЦЕВ, В.А. ЕФИМОВ

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ И ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Обеспечение безопасности эксплуатации авиационной техники предъявляет крайне жесткие требования к надежности материалов, используемых в этих конструкциях. Требования к конструкционным материалам, наиболее полно отвечающим современным тактико-техническим требованиям, стимулировали разработку и широкое использование полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Полимерные композиционные материалы относятся к новому классу материалов, которые в силу ряда существенных преимуществ перед металлическими материалами нашли широкое распространение в изделиях различных отраслей техники. В частности, объем применения углепластиков в конструкциях различных типов аэробусов за последнее десятилетие (2000–2010 гг.) вырос в 3–5 раз [1]. В последнем изделии зарубежного авиапрома – Боинге 787 – фюзеляж и несущие поверхности крыла и оперения полностью выполнены из композиционных материалов.

Полимерные материалы под воздействием комплекса климатических факторов (температуры, влажности, солнечного излучения и др.) могут существенно изменять свои прочностные характеристики, что необходимо учитывать при проектировании изделий авиационной техники, предназначенных для эксплуатации во всеклиматических условиях [2]. Необходимость учета воздействия климатических факторов на материалы отражена в Авиационных правилах [3]. Применительно к ПКМ требования задаются разработчиками изделий, при этом практический интерес представляют материалы, уровень прочностных свойств которых за пе-

риод эксплуатации изделий в течение 25–30 и более лет снизился бы не более чем на 20–25%.

Все разрабатываемые в ВИАМ материалы проходят комплексные климатические испытания в лабораторных условиях (ускоренное старение) и натурные испытания в различных климатических зонах России с целью получения и обобщения информации, необходимой разработчикам для повышения климатической стойкости вновь разрабатываемых материалов, а также отражения в дополнительных сведениях на паспорта материалов и в электронной базе данных по климатической стойкости материалов. Однако при проведении таких испытаний имеется еще много проблем, некоторые из которых сформулированы в работе [4]. В частности, в ней отмечалось недостаточное изучение механизма физико-химических изменений, протекающих в материалах в процессе старения, отсутствие информации об изменении свойств под воздействием статических и динамических напряжений. Последняя крайне необходима для оценки ресурса конструктивных элементов и агрегатов из ПКМ с воспроизведением условий эксплуатации в реальном масштабе времени. Отмечалось также несовершенство современной нормативной базы проведения климатических испытаний.

В связи с этим основные работы по изучению климатической стойкости полимерных композиционных материалов за последние 5 лет проводились в следующих направлениях:

- проведение исследований климатической стойкости ПКМ в различных климатических зонах России с целью получения и обобщения новых данных для включения в паспорта на разработанные в ВИАМ материалы и пополнения электронной базы данных по климатической стойкости материалов;
- привлечение новых методов для изучения изменения структуры материалов после воздействия климатических факторов;
- исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства ПКМ;
- исследование влияния морской воды на физико-механические свойства ПКМ;
- разработка новой нормативной документации на проведение климатических исследований ПКМ;
- дальнейшее совершенствование экспериментальной базы проведения климатических испытаний материалов.

Продолжалось проведение широкомасштабных исследований полимерных композиционных материалов в различных климатических зонах России: холодной, умеренной, теплой и теплой влажной [5–8]. Так, в работе [5] проведены сравнительные испытания ряда эпоксидных стеклотекстолитов при лабораторных температурно-влажностных воздействиях, а также после натурной экспозиции в различных климатических зонах. В результате проведенных исследований было установлено:

- из изученных материалов наибольшей стабильностью (прочность при статическом изгибе и межслоевом сдвиге при 20 и 80°C) отличаются стеклотекстолиты СТ-УП-2227-14 и СТ-КМКС на основе связующего УП-2227 и клеевого препрега КМКС соответственно;
- использование высокопрочной стеклоткани Т-10(ВМП)-4с позволяет повысить эксплуатационные характеристики стеклотекстолитов;

– наиболее жестким условием испытаний, при котором происходит сильное изменение свойств стеклотекстолитов, является тепловлажностное воздействие.

В работе [6] проведено изучение влияния климатических факторов умеренно теплого и теплового влажного климата на климатическую стойкость ПКМ на эпоксидных связующих СТ-2227М, ГКМ-1М, ВПС-31, СТ-69Н-15(П). В качестве критерия оценки служебных характеристик исследуемых материалов были выбраны показатели механических свойств $\sigma_{в.и}$, $\sigma_{в.сж}$, $\tau_{в}$, $E_{и}$, определяющие работоспособность материала в эксплуатационных условиях. Среднегодовые значения основных метеопараметров станций ГЦКИ (г. Геленджик) и ГНИП РАН (г. Сочи) за 2004–2007 гг. (табл. 1) показывают, что они характеризуются высокими значениями термовлажностного комплекса. Теплый влажный климат на станции ГНИП РАН по совокупности воздействия климатических факторов более жесткий, чем умеренно теплый климат ГЦКИ.

Таблица 1

Среднегодовые значения климатических факторов на побережье Черного моря

Климатические факторы за 2004–2007 гг. (среднегодовые значения)	Климатические зоны	
	умеренно теплая (ГЦКИ)	теплая влажная (ГНИП РАН)
Температура воздуха $T_{ср}$, °С	15,1	14,2
Относительная влажность воздуха W , %	75	79
Осадки, мм	569	1676
Продолжительность увлажнения поверхности при $W > 80\%$ и $T > 0^{\circ}\text{C}$, ч	3676	4640
Солнечное излучение, МДж/м ²	5040	5600
Ультрафиолетовое излучение, МДж/м ²	320	260
Содержание хлоридов, мг/(м ² ·сут)	31	28

Следует отметить, что по совокупности метеопараметров климатическая зона г. Сочи является более жесткой, чем зона Средиземноморья, и незначительно уступает климату Южной Флориды (по температуре и дозе УФ облучения).

Были получены следующие результаты:

– в зоне теплового влажного климата исследованные материалы имеют более низкий уровень прочностных характеристик, чем в зоне умеренно теплового климата;

– эффект влияния климатических факторов на свойства ПКМ проявляется в большей степени на характеристиках, измеренных при температуре эксплуатации;

– основное влияние на снижение прочностных характеристик ПКМ при их экспозиции в умеренно теплом и теплом влажном климате оказывает влага, поглощенная материалами из окружающей среды.

В работе [7] проведено изучение влияния климатических факторов зон умеренно теплового и теплового влажного климата на климатическую стойкость ПКМ конструкционного назначения на эпоксидных типах связующих. Установлено, что прогнозирование прочностных характеристик возможно путем проведения лабораторных исследований при пол-

ном влагонасыщении материала. При этом получается нижняя граница результатов возможных изменений свойств материала [9]. Анализ полученных данных подтвердили результаты, полученные в работе [6].

Были продолжены исследования ПКМ при совместном воздействии климатических факторов и механических нагрузок [10, 11]. Для полной оценки поведения материала в конструкции необходима оценка стабильности уровня основных служебных свойств в заданных условиях эксплуатации. Взаимосвязь изменения прочностных свойств под воздействием внешних факторов (температуры, влажности, нагрузок) со структурными превращениями, происходящими в материале, позволяет получать как предварительную оценку уровня изменения свойств разрабатываемого материала, так и подтверждение его работоспособности в составе реальной конструкции. Особый интерес представляет изучение закономерностей климатического старения материалов в напряженном состоянии. Опубликованные результаты работ в этом направлении имеют неполные и порой противоречивые данные [12–15].

Синергизм, проявляющийся при воздействии влажной среды и механических нагрузок, обнаружен в работах [16, 17]. При моделировании совместного влияния климата и механических нагрузок было показано [18], что долговечность элементов конструкций из ПКМ при совместном воздействии климата и механических нагрузок существенно зависит от уровня нагружения. Во всех этих работах не проводилось исследование влияния нагружения на изменение температуры и области стеклования материалов – крайне важных характеристик, которые определяют изменение структуры полимерной матрицы и область работоспособности материала.

В работах [10, 11] на примере ПКМ на основе эпоксидного связующего проводилось исследование влияния воздействия климатических факторов в процессе проведения ускоренных тепловлажностных и натуральных климатических испытаний при статическом и циклическом нагружении на изменение остаточной прочности материала при изгибе, влагосодержания и структурных превращений в материале (области и температуры стеклования).

Статическое нагружение образцов при трехточечном изгибе обеспечивалось при их установке в специальные приспособления с заданным уровнем деформации, эквивалентным 0,4 и 0,6 от разрушающей нагрузки при изгибе ($\sigma_{\text{изг.разр}}$).

Циклическое нагружение проводилось на универсальной машине фирмы Zwick Z10 при трехточечном изгибе с нагрузкой $0,4\sigma_{\text{изг.разр}}$ и частотой 6 Гц. Максимальное количество циклов 10^4 соответствует времени эксплуатации самолета в течение 25 лет.

В лабораторных условиях образцы в свободном и нагруженном (статический изгиб) состояниях проходили экспозицию в тепловлажностной камере фирмы «Climats» при температуре 60°C и относительной влажности 85%, в натуральных условиях – на открытой площадке в зоне умеренного климата.

Определение интервала и температуры стеклования проводилось методом термического механического анализа (ТМА) на приборе DiL 402C фирмы «Netzsch» по DIN 402C и ASTM E-473. Результаты лабораторных тепловлажностных испытаний материалов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства	Значения свойств			
	в исходном состоянии	после увлажнения		
Статическая нагрузка при изгибе	0	0	$0,4\sigma_{\text{изг.разр}}$	$0,6\sigma_{\text{изг.разр}}$
Влагосодержание, %	0,18	0,51	0,54	0,58
Прочность при изгибе при комнатной температуре, %	100	94	90	68
Температура стеклования, °С	117	101	97	94
Область стеклования, °С	100–132 (32)	88–130 (42)	89–115 (26)	81–103 (22)

Статическая нагрузка приводит к увеличению влагосодержания, уменьшению прочности при изгибе и температуры стеклования и уменьшению интервала области стеклования. Такие изменения объясняются тем, что по мере проникновения влаги в материал происходит его набухание, образуется градиент ее концентрации по толщине материала, происходит ослабление связей на границе раздела связующее–наполнитель и разрушение части напряженных связей полимерных цепей, ограничивающих молекулярную подвижность. Вследствие этого происходит структурная перестройка макромолекул связующего, повышается структурная однородность полимерной матрицы, что подтверждается сужением температурного интервала области стеклования. Одновременно с этим в полимерной матрице и на границе раздела полимер–наполнитель «влажных» образцов, находящихся под нагрузкой, появляются микротрещины [19–21], что приводит к снижению прочности (до 68% от исходного уровня) с ростом уровня статического нагружения и увеличению влагосодержания материала.

Воздействие на образцы только 10^4 циклов МЦУ без проведения их натурной экспозиции приводит к незначительному повышению прочности, при этом расширяется область стеклования и повышается температура стеклования. Последовательное воздействие факторов климата (температуры, влажности, атмосферных осадков, солнечной радиации) в течение 6, 9, 12 мес и МЦУ ($5 \cdot 10^3$, $7 \cdot 10^3$, 10^4 циклов) мало влияют на прочностные характеристики.

В процессе проведения исследований установлено, что на значения температуры и области стеклования накладывается сезонный фактор снятия образцов с натурной экспозиции.

Учитывая использование композиционных материалов, в частности, материалов на основе клеевых препрегов (КМК), для изготовления обшивок сотовых конструкций гидросамолета, было проведено исследование влияния морской и пресной воды на свойства материала КМКС (клеевой препрег на основе эпоксидных диановых смол, модифицированных карбоксилсодержащими каучуками с эпоксидной матрицей, и стеклоткани Т-10-80) [22]. В работе приведены кинетические кривые влагопоглощения после длительной выдержки в морской и дистиллированной воде

при температурах 20, 60 и 80°C. Установлено, что количество воды, сорбированной образцами после выдержки как в морской, так и дистиллированной воде, практически одинаково. Не выявлено также различий в прочностных характеристиках ($\sigma_{в.и}$) исследуемого материала при его контакте с морской и пресной водой.

Одновременно с проведением работ по изучению климатической стойкости материалов совершенствовалась нормативная база по проведению испытаний. Было разработано 8 нормативных методических материалов.

***Методика выбора тепловлажностного режима
при проведении ускоренных испытаний
(ММ 1.595-20-264–2005)***

Сущность методики заключается в регламентации максимальной температуры и относительной влажности при проведении ускоренных испытаний для определения и прогнозирования свойств материалов при проведении термовлажностных испытаний. Рекомендуемая относительная влажность устанавливается применительно к различным климатическим районам эксплуатации изделий, в которых используются исследуемые материалы, а также при эксплуатации изделий в общеклиматическом исполнении. Выбор длительности тепловлажностных испытаний проводится с учетом энергии активации показателя старения, характерной для исследуемого материала. При отсутствии последней приводится ориентировочное время достижения равновесного влагосодержания для различных классов композиционных материалов: угле-, органо- и стеклопластиков. Приводятся требования к образцам исследуемых материалов и к аппаратуре для проведения ускоренных испытаний.

***Методика проведения натуральных климатических испытаний
материалов с учетом их физического состояния
(продолжительности увлажнения и температуры)
(ММ 1.595-20-218–2004)***

Разработка методики вызвана необходимостью корректирования значения тепловлажностных факторов (по сравнению с измеряемыми метеопараметрами), необходимых для оценки процессов, протекающих на поверхности исследуемых металлических и неметаллических образцов. Методика устанавливает требования, предъявляемые к образцам материалов, деталям и элементам конструкций при проведении их испытаний на климатических станциях ВИАМ.

Важнейшим фактором, влияющим на процессы старения полимерных материалов, является наличие на их поверхности слоев фазовой или адсорбированной влаги. Согласно ГОСТ 9.039 «Коррозионная активность атмосферы», адсорбированная пленка появляется при температуре выше -2°C и $\varphi > 70\%$, по ИСО 9223 (Коррозия металлов и сплавов. Классификация коррозионности атмосферы) – при температуре выше 0°C и $\varphi > 80\%$. По этим нормативным документам она не зависит от состояния поверхности, на которой адсорбируется влага, что не соответствует действительности, особенно это относится к ПКМ. Имеющееся отличие температуры

образцов, находящихся на открытой экспозиции на климатических площадках, от температуры атмосферы при расчете продолжительности увлажнения не учитывается.

В то же время существует связь продолжительности увлажнения поверхности материалов с интенсивностью солнечной радиации: чем выше солнечная радиация, тем выше температура образца. При превышении температуры образца выше температуры окружающей среды изменяется баланс тепловых потоков, интенсифицируются процессы теплообмена, что приводит к сокращению времени существования пленки влаги, находящейся на поверхности образца.

Основные требования к проведению испытаний заключаются в измерении температуры на эталонах, в качестве которых используются образцы, покрытые матовой черной краской (черная панель), белой матовой краской (белая панель) и 3 неокрашенных образца, представляющих типичные классы композиционных материалов: угле-, стекло- и органопластик, а также пластина из алюминиевого сплава. На образцах, выставленных на атмосферной площадке, к внутренней (не обращенной к солнцу) стороне приклеиваются микротермометры сопротивления, соединенные с компьютеризированной системой сбора и обработки данных. Под навесом производится измерение температуры только на эталонных образцах композиционных материалов. Измерение температур черной и белой панели на атмосферной площадке дает интервал температур, в котором проходят экспозицию все образцы лакокрасочных покрытий. Реальная температура образцов рассчитывается путем сопоставления их коэффициентов поглощения (A_s) с коэффициентами поглощения эталонных материалов. Измерение продолжительности и интенсивности увлажнения измеряется датчиками, расположенными на атмосферной площадке и под навесом и подсоединенными к системе сбора и обработки данных.

**Методика испытаний материалов интерьера
и приборных панелей при проведении натурных исследований
(ММ 1.595-20-302-2006)**

Методика разработана в соответствии с рекомендациями ISO 877 и устанавливает требования к проведению натурных испытаний в различных климатических условиях материалов интерьера самолета и материалов, применяемых для изготовления панелей приборов. Приводится рекомендуемая конструкция бокса для экспонирования образцов с крышкой, выполненной из прозрачных материалов, применяемых для остекления авиационных изделий. Для выбора материалов была проведена специальная работа по сравнению интенсивности солнечного излучения, падающего на датчики, расположенные внутри бокса: суммарной солнечной радиации (SR – в диапазоне 300–3000 нм), ультрафиолетовой части спектра (UVA – в диапазоне 320–400 нм; UVB – в диапазоне 280–320 нм) с потоком, попадающим на эти датчики через материалы остекления. Установлено, что проходящий световой поток как суммарной солнечной радиации, так и УФ спектра зависит от толщины исследуемых стекол. С уменьшением толщины доля проходящего потока возрастает.

***Методика оценки влияния разреженной атмосферы
на влагосодержание и прочность стеклопластиков
(ММ 1.595-20-328–2007)***

При разработке новых материалов определение влияния климатических факторов на их прочностные характеристики проводится после влагонасыщения образцов в климатических камерах с заданными температурно-влажностными параметрами. В методике описывается процедура проведения сравнительных испытаний в термовлажностной камере и камере, имитирующей условия полета (разреженная атмосфера). Разработка методики вызвана необходимостью оценки влияния разреженной атмосферы на физико-механические свойства ПКМ.

***Методика оценки влагопоглощения и уноса массы композиционных полимерных материалов при проведении натурных испытаний
(ММ 1.595-20-361–2008)***

Методика предназначена для количественной оценки двух протекающих параллельно процессов при натурной экспозиции ПКМ: увеличения массы вследствие сорбции атмосферной влаги (влагонасыщение) и снижения массы за счет деструкции связующего на поверхности исследуемых образцов (унос массы). Методика позволяет оценить атмосферостойкость ПКМ по снижению механических свойств в течение заданного промежутка времени, а также обратимость процессов воздействия влаги на материалы. Приводится описание порядка проведения испытаний, а также зависимости расчета влагосодержания и уноса массы исследуемого материала.

***Испытание композиционных материалов
при статическом нагружении и действии климатических факторов
(ММ 1.595-20-394–2009)***

Методика предназначена для оценки величины остаточной прочности (изменение прочности при изгибе за заданный временной интервал) после одновременного воздействия на исследуемый образец повышенной температуры, относительной влажности и механической нагрузки (заданной деформации) при экспонировании образцов материалов в лабораторных и натурных условиях при экспозиции на открытых стендах, под навесом и в неотапливаемом складе. Методика используется для исследовательских целей при оценке влияния предполагаемых факторов хранения на изменение структуры и прочностных свойств ПКМ, а также для оценки пластифицирующего воздействия влаги. Заданную деформацию создают в специальных приспособлениях и контролируют с помощью микрометрической головки с ценой деления не более 0,001 мм. Моделирование климатических факторов проводится в термовлажностных камерах, поддерживающих температуру $\pm 0,1^\circ\text{C}$, влажность $\pm 2\%$ от заданного значения и неравномерность температуры по объему камеры $\pm 1^\circ\text{C}$. Содержание влаги в исследуемом материале контролируется путем определения изменения массы образца с погрешностью $\pm 0,01\%$. После подготовки образцов к испытаниям (сушка в термостате до стабилизации массы) определяется исходная прочность при изгибе и модуль упругости при комнатной и рабочей температурах, температура стеклования (мето-

дами термомеханического и динамического механического анализа). По полученным данным рассчитывается заданная деформация и уровень нагружения, при которых будут проводиться натурные и лабораторные испытания. Рекомендуемые значения нагрузки (заданной деформации) при проведении исследований составляют 0,2; 0,4; 0,6 от разрушающего напряжения $\sigma_{изг}$. После нагружения в приспособлениях образцы помещаются в климатическую камеру, обеспечивающую заданные программой испытаний условия экспозиции, или на атмосферную площадку. Регламентируется время промежуточных съёмов образцов для определения остаточной прочности при изгибе и температуры стеклования.

***Испытания композиционных материалов
при воздействии морской воды (ММ 1.595-591-402-2009)***

Методика предназначена для количественной оценки в лабораторных условиях влияния воздействия морской воды на ПКМ путем оценки процесса водопоглощения, а также измерения прочностных и дилатометрических характеристик, в частности температуры стеклования. Описываются требования, предъявляемые к морской воде, используемой при проведении экспериментов, а также порядок процедуры проведения испытаний.

***Испытания образцов полимерных композиционных материалов
при последовательном воздействии циклической механической
нагрузки и натуральных климатических факторов
(ММ 1.595-20-419-2010)***

Имеющаяся нормативная документация (ГОСТы) регламентирует порядок проведения натуральных климатических испытаний образцов ПКМ в свободном (ненагруженном) состоянии. В то же время на материалы в конструкциях изделий воздействует комплекс климатических и механических характеристик, в частности циклические механические нагрузки. Разработанный методический материал предназначен для проведения испытаний ПКМ на воздействие внешних эксплуатационно-климатических факторов (чередующееся последовательное воздействие на исследуемый образец динамической изгибающей нагрузки и климатических факторов) с последующим определением величины остаточной прочности. Динамическое изгибающее нагружение образца осуществляется при помощи разрывной машины фирмы Zwick Z10. Циклическое нагружение образца происходит по схеме трехточечного изгиба. Испытания образцов материалов включают суммарное механическое воздействие не менее 10 000 циклов и суммарную экспозицию в натуральных климатических условиях не менее одного года. Испытания проводят при последовательном чередовании механической циклической нагрузки и факторов климата в определенной пропорции от заданного количества циклов и длительности натуральных испытаний. При моделировании механического нагружения его уровень выбирают из условий применения материалов в конкретной конструкции. Амплитудно-частотный спектр нагружения рекомендуется выбирать близким к спектру эксплуатационных нагрузок, но с частотой не более 10 Гц, так как более высокая частота нагружения приводит к саморазогреву образцов. При проведении оценочных испытаний рекомендуемая нагрузка составляет для стекло-

пластиков $0,3\sigma_{\text{разр}}$ (предела прочности при изгибе), для углепластиков: $0,5\sigma_{\text{разр}}$. Описывается порядок проведения испытаний.

За эти годы обновлялась и лабораторная база для проведения ускоренных климатических испытаний материалов. В настоящее время в институте функционируют самые современные тепловлажностные камеры фирмы «Climats», импортное оборудование для проведения низкотемпературных испытаний и испытаний на тепловой удар, камеры для исследования светостойкости, определения теплового ресурса, тропическая камера, приборы для изучения изменения поверхности, газоанализатор и др.

Проведено исследование возможности использования оптических методов для оценки состояния поверхности ПКМ в процессе натурной экспозиции. Установлено, что показатели яркости по ISO 7724 и блеска по ГОСТ 896 являются характеристиками, чувствительными к изменению состояния поверхности, облучаемой солнцем при натуральных испытаниях. Показано, что характеристика блеска коррелирует с данными макроструктурных исследований и визуального осмотра. В процессе натурной экспозиции было отмечено, что у углепластика коэффициент яркости имеет постоянную величину и не зависит от изменения прочности, у стекло- и органопластиков коэффициент яркости в большей степени зависит от освещенности поверхности, чем от состояния поверхности.

Обработка полученных метеоданных за период наблюдений 2005–2009 гг. позволила получить достоверную информацию о среднегодовых параметрах климатических условий экспозиции материалов в четырех климатических зонах за указанный период наблюдений. Установлено, что для макроклиматических районов умеренного и холодного климата наблюдается «потепление»: показатели среднегодовой температуры, относительной влажности, количества осадков за период наблюдений 2005–2009 гг. отличаются от средних многолетних значений метеопараметров, приведенных в справочниках по состоянию на 1970 г. Вышеуказанные параметры климата в значительной мере влияют на скорость процессов старения ПКМ, что в конечном итоге определяет достоверность результатов натуральных испытаний и обоснование сроков службы изделий.

Продолжалось пополнение электронной базы «Климат». Разработанный макет базы имеет следующую структуру:

- таблицы с описанием типа (класса) материалов, испытанными видами материалов, результатами испытаний по различным методам оценки, нормативными требованиями и методами и др.;
- схема взаимодействия и связей для групп данных из различных таблиц;
- запросы для оптимизации работы с таблицами и удобства составления форм (окон) просмотра содержащихся данных и ввода новой информации;
- формы, содержащие краткое описание методов, используемых для определения показателей климатической стойкости авиационных материалов;
- формы для просмотра данных по натурным и ускоренным климатическим испытаниям для материалов;
- формы для ввода новых данных: новых материалов (элементов конструкций) и результатов определения климатической стойкости в соответствии с используемыми методами.

Электронная база справочных данных включает в себя данные по изменению комплекса прочностных свойств неметаллических материалов

после натурной экспозиции в представительных климатических зонах: Москва, Мурманск, Якутск, Батуми, Сочи, Геленджик, Душанбе, НИС «Изумруд» с экспозицией до 20 лет. На 2010 год разработанная база справочных данных по климатической стойкости включает 165 марок авиационных материалов, из них: 17 марок углепластиков, 30 марок стеклопластиков, 13 марок органоластиков, 41 марка термоластиков, пленок и оргстекло, 45 марок клеев и герметиков, 19 марок эластомеров, гибридных материалов и др.

В настоящее время широкомасштабные исследования климатической стойкости материалов проводят в ВИАМ в московском и геленджикском центрах климатических испытаний, у институтов РАН арендуются площадки в различных климатических зонах России. В ГЦКИ начаты работы по изучению конструктивных образцов и элементов конструкций при совместном воздействии климатических факторов, статических и динамических нагрузок, создаются стенды для изучения материалов интерьера, продолжает совершенствоваться нормативная база по проведению климатических испытаний, проводятся работы по изучению диффузионных процессов, протекающих в ПКМ при воздействии климатических факторов, решаются вопросы, связанные с прогнозированием изменения свойств материалов под воздействием климатических факторов и др.

Результаты этих работ позволяют выработать критерии выбора ПКМ для применения в изделиях авиационной техники, определяемый их климатической стойкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: НОТ. 2008. 820 с.
2. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 11. С. 19–26.
3. Авиационные правила, части 23,25, п. 603.
4. Кириллов В.Н., Ефимов В.А. Проблемы исследования климатической стойкости авиационных неметаллических материалов / В сб.: 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды 1932–2007. М.: ВИАМ. 2007. С. 379–388.
5. Кириллов В.Н., Кавун Н.С., Ракитина В.П., Деев И.С., Топунова Т.Э., Ефимов В.А., Мазаев П.Ю. Исследование влияния тепловлажностного воздействия на свойства эпоксидных стеклотекстолитов // Пластические массы. 2008. № 9. С. 14–17.
6. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Вапиров Ю.М. Исследование климатической стойкости ПКМ в приморской атмосфере теплого влажного и умеренного теплого климата / В сб. докл. 7-й науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2008». 5–6 сентября. 2008. С. 314–320.
7. Кириллов В.Н., Добрянская О.А., Ефимов В.А., Вапиров Ю.М. Исследование атмосферной стойкости полимерных композиционных материалов в приморской атмосфере теплого влажного и умеренного теплого климата / В сб. докл. VII науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2010». Ч. II. 2010. С. 84–90.
8. Голиков Н.И., Кириллов В.Н., Попов В.Н., Ефимов В.А., Барботько С.Л. Проведение натурных испытаний материалов в условиях холодного климата Якутии / В сб. докл. 3-го Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск. 2006. С. 57–60.
9. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Матвеевкова Т.Е., Кривonos В.В., Гребнева Т.В., Болберова Е.В. Климатическая стойкость новых композиционных материалов // Авиационная промышленность. 2004. № 4. С. 44–47.

10. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Шведкова А.К., Алексахин В.Н., Зуев А.В., Николаев Е.В. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства углепластика КМУ-11ТР / В сб. докл. VII науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2010». Ч. II. 2010. С. 111–115.

11. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Шведкова А.К. Влияние климатических факторов и механического нагружения на свойства углепластика на эпоксидном связующем // Пластические массы. 2011 (в печати).

12. Старцев О.В. Старение полимерных авиационных материалов в теплом влажном климате: Автореф. дис. доктора техн. наук. М. 1990. 80 с.

13. Панферов К.В., Романенков И.Г., Абашидзе Г.С., Никитин В.Н., Львов Б.С., Шпаловская Б.И. Атмосферостойкость стеклопластиков, находящихся под нагрузкой // Пластические массы. 1968. № 6. С. 32–33.

14. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Матвеевкова Т.Е., Коренькова Т.Г. Влияние последовательного воздействия климатических и эксплуатационных факторов на свойства полимерных композиционных материалов / В сб. докл. 5-й науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2004». 2004. С. 155–158.

15. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. Ч. III. Значимые факторы старения // Деформация и разрушение материалов. 2011. № 1. С. 34–40.

16. Helbling C., Karbhari V.M. Durability Assessment of Combined Environmental Exposure and Bending / Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. For Reinf. Concrete Structures (FRPRCS-7). New Orleans. USA. 2005. P. 1397–1418.

17. Roylance D., Roylance M. Weathering of Fiber-Reinforced Epoxy Composites // Polym. Eng. and Sci. 1978. V. 18. № 4. P. 249–254.

18. Булманис В.Н., Ярцев В.А., Кривонос В.В. Работоспособность конструкций из полимерных композитов при воздействии статических нагрузок и климатических факторов // Механика композиционных материалов. 1987. № 5. С. 915–920.

19. Анискевич К.К., Курземниекс А.Х., Янсон Ю.О. Исследование влияния длительного воздействия температуры и влаги на упругие свойства и структуру оргонопластика // Механика композиционных материалов. 1985. № 4. С. 620–623.

20. Reynolds T.G. Accelerated Tests of Environmental Degradation in Composite Materials // M.S. Thesis: Univ. of Bristol. 1998. 177 p.

21. Вапиров Ю.М., Кривонос В.В., Старцев О.В. Интерпретация аномального изменения свойств углепластика КМУ-1у при старении в разных климатических зонах // Механика композиционных материалов. 1994. Т. 30. № 2. С. 266–273.

22. Кириллов В.Н., Добрянская О.А., Ефимов В.А., Вапиров Ю.М., Буйнова З.И. Исследование влияния морской воды на физико-механические свойства стеклопластика на основе клеевых препрегов / В сб. докл. VII науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2010». Ч. II. 2010. С. 78–83.

А.В. СТЕПАНОВ, Е.И. КОСАРИНА,
Н.А. САВВИНА, В.Е. УСАЧЕВ

МАКРО- И МИКРОПОРИСТОСТЬ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ И НИКЕЛЯ, ОБНАРУЖЕНИЕ ЕЕ РЕНТГЕНОСКОПИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В области радиационных методов неразрушающего контроля перед специалистами ВИАМ были поставлены задачи снижения трудоемкости и себестоимости контроля, а также обнаружения микродефектов, размеры которых находятся в диапазоне $(5-50) \cdot 10^{-3}$ мм.