



УДК 678.747.2

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-10-10

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА
УГЛЕПЛАСТИКА НА ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДНОМ
СВЯЗУЮЩЕМ**

А.Е. Сорокин

кандидат технических наук

Э.Я. Бейдер

кандидат технических наук

Д.Н. Перфилова

Январь 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 678.747.2

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-10-10

А.Е. Сорокин¹, Э.Я. Бейдер¹, Д.Н. Перфилова¹

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА УГЛЕПЛАСТИКА НА ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДНОМ СВЯЗУЮЩЕМ

Исследованы свойства углепластика на термопластичной матрице. Изучено влияние воздействия различных сред и температур на свойства углепластика на полифениленсульфидном связующем. Показано, что углепластик обладает высокой влаго- и водостойкостью, в том числе и при повышенных температурах. Выявлено влияние направления укладки углепластика на его поведение в процессе выдержки во влажной среде и воде. Установлено, что исследованный материал характеризуется высоким уровнем сохранения прочностных показателей после воздействия воды, влажной среды, тепловлажностого старения, теплового старения и термоциклирования от -60 до +160°C.

По результатам исследования установлено, что углепластик имеет высокий уровень сохранения свойств и конкурентоспособен по приведенным характеристикам с зарубежными и отечественными аналогами, может эксплуатироваться в диапазоне температур от -60 до +160°C.

Ключевые слова: *полимерный композиционный материал, углепластик, термопластичная матрица, ускоренное старение, остаточная прочность при сжати, температура стеклования, влагопоглощение, водопоглощение.*

A.E. Sorokin, E.Ya. Beider, D.N. Perfilova

EFFECT OF CLIMATIC FACTORS ON PROPERTIES OF CARBON FIBER REINFORCED PLASTIC BASED ON POLYPHENYLENESULFIDE RESIN

Properties of carbon fiber reinforced plastic based on thermoplastic matrix were studied. An influence of different environments and temperatures on properties of carbon plastic polyphenylenesulfide resin was studied. It has been shown that CFRP has a high moisture and water resistance at normal and elevated temperatures. Influence of different lay-ups of carbon plies on the behavior of CFRP during aging in moisture environment and water has been revealed. It was established that the studied material is characterized by a high level of maintenance of strength characteristics after an effect

of water, moisture, thermo-moisture aging, thermal aging and treatment by thermal cycles from -60 to +160°C.

It has been shown during research that CFRP has a high level of maintenance of the properties and it is competitive with foreign and domestic analogues. It may be used in wide temperature range from -60 to +160°C.

Keywords: *polymer composite material, carbon fiber plastic, thermoplastic matrix, accelerated aging, residual compressive strength, glass transition temperature, moisture absorption, water absorption.*

¹Федеральное 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

Введение

Полимерные композиционные материалы на основе термопластичной матрицы, армированной углеродными волокнами, представляют интерес для авиационной промышленности, так как могут обеспечить жесткость и легкость произведенных из них деталей (рис. 1). Углепластики на термопластичном связующем используются для производства неотчетственных и малонагруженных агрегатов и элементов воздушных судов: лобовиков крыла, зализов мотогондол, панелей люков, перегородок, напольных панелей и т. п. [1–18].

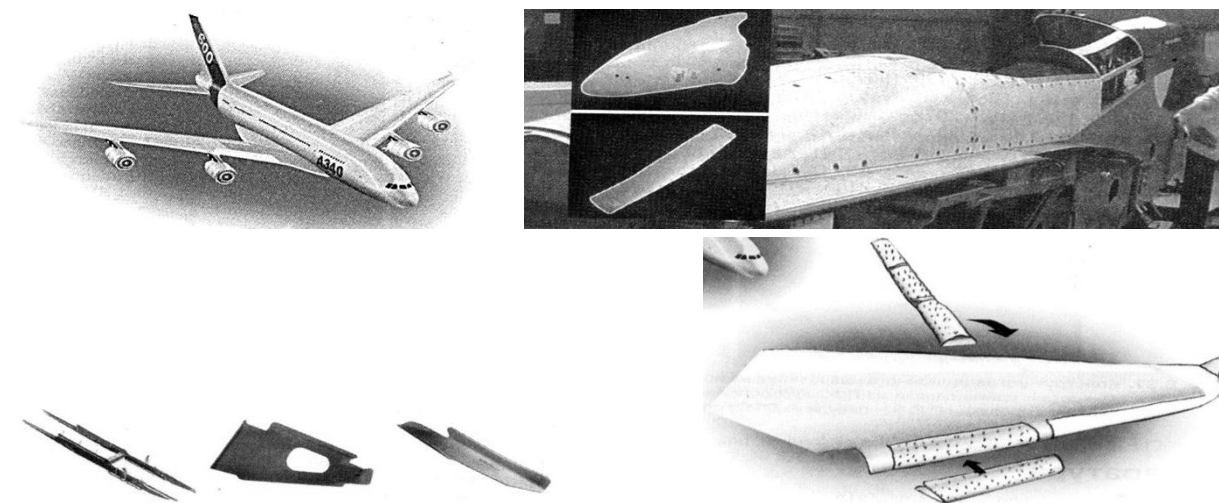


Рисунок 1. Элементы конструкции крыла из углепластика на полифениленсульфидном связующем для аэробуса А340

При эксплуатации эти агрегаты и элементы конструкции подвергаются воздействию различных климатических факторов: повышенная влажность, пониженные и повышенные температуры и т. п. В связи с этим необходимо проводить ускоренные кли-

матические испытания материалов, в процессе которых они подвергаются воздействию повышенных температур, водной и влажностной сред [16–27].

В ряде работ [18–21, 23–27] описана проблематика поведения термопластов, армированных углеродными волокнами, подверженных воздействию различных сред. Так, углепластики с различными термопластичными матрицами: полиамидной, полиэфирэфиркетонной, полисульфонной – характеризуются высоким уровнем сохранения свойств и высокой стойкостью к воздействию повышенных температур и различных сред.

Работы [21–23] посвящены исследованию зарубежных марок углепластиков на полифениленсульфидном связующем. Показано, что пластик на основе полифениленсульфида марки Rithon, армированный волокнами марки ЗК фирмы Toho Co., в результате тепловлажностного старения при различных температурах характеризуется снижением прочности при растяжении на 5–8%, при изгибе – на 17–25% и ударной вязкости – на 9–12% [21, 22]. В работе [23] исследовано влияние выдержки в воде при 80°C на прочность при сжатии углепластика и показано, что он характеризуется повышением прочности на 13%, что противоречит традиционным представлениям.

Цель работы – проведение исследования влияния различных сред на свойства углепластика на полифениленсульфидной матрице и определение его эксплуатационных характеристик.

Материалы и методы

Углепластик на основе однонаправленной углеволокнутой ленты фирмы Toho Co. и полифениленсульфидного связующего фирмы Ticona получают прямым компрессионным прессованием при температуре 330°C и давлении 1,5 МПа на гидравлическом прессе типа ОРМА.

Образцы для испытаний изготавливались с помощью циркулярной пилы, в качестве режущего инструмента использовался алмазный диск. Размеры образцов определяли согласно требованиям ГОСТ, по которым проводились испытания.

Исследование влаго- и водопоглощения углепластика проводили по ГОСТ 12020–72; тепловлажностное старение и воздействие циклических перепадов температур – по ГОСТ 9.707–81; тепловое старение – по ГОСТ 9.024–74.

Испытания на сжатие проводили на образцах с квазиизотропной и однонаправленной укладкой по ГОСТ 25.602–80.

Температуру стеклования углепластика определяли по изменению зависимости тангенса угла механических потерь от температуры на крутильном маятнике «Релаксо-

метр РМ-05» в диапазоне температур от 30 до 260°C, при скорости нагрева 5 К/мин и частоте 0,35 Гц.

Результаты и обсуждение

Продолжительное воздействие различных сред и температур в значительной степени влияет на свойства материалов. Характер изменения свойств материалов в процессе климатического воздействия позволяет определить их эксплуатационные характеристики и рекомендовать материал для того или иного типа изделий. Статья посвящена изучению особенностей поведения углепластика при воздействии на него различных климатических факторов.

Для определения влияния водо- и влагонасыщения на свойства углепластика образцы подвергали воздействию соответствующих сред в течение 30 сут. В табл. 1 приведены результаты испытаний углепластика до и после экспозиции.

Таблица 1

Прочность при сжатии углепластика после экспозиции в воде и влажной среде и тепловлажностного старения

Условия экспозиции	Укладка	Продолжительность воздействия	Привес, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Уровень сохранения свойств*, %
В исходном состоянии	Однонаправленная	–	–	992	–
	Квазиизотропная	–	–	490	–
Экспозиция в воде	Однонаправленная	24 ч	0,021	922	93
		30 сут	0,110	900	90
	Квазиизотропная	24 ч	0,050	447	91
		30 сут	0,120	445	91
Экспозиция во влажной среде	Однонаправленная	30 сут	0,095	960	97
	Квазиизотропная	30 сут	0,107	455	93
Тепловлажностное старение при температуре 60°C и φ=85%	Квазиизотропная	30 сут	–	461	94

* Относительно исходного значения.

Видно, что уровень сохранения свойств углепластика достаточно высок. Так, образцы пластика с однонаправленной укладкой характеризуются снижением прочности при сжатии на 7 и 10% после 24 ч и 30 сут экспозиции в воде соответственно и на 3% после экспозиции во влажной среде. Сохранение прочности при сжатии углепластика с квазиизотропной укладкой находится на уровне 91% после 24 и 30 сут экспозиции в воде и 93% после 30 сут воздействия влажной среды.

Как и следовало ожидать, после экспозиции во влажной среде в обоих случаях наблюдается более высокий уровень сохранения прочности при сжатии углепластика по сравнению с результатами испытаний после выдержки в воде.

В табл. 1 также приведены значения привеса, который имели образцы непосредственно перед определением остаточной прочности при сжатии после экспозиции в соответствующих средах. Полученные значения привеса образцов хорошо коррелируют с результатами, полученными при определении остаточной прочности при сжатии. После 24 ч выдержки в воде однонаправленные образцы имеют привес 0,021%, а образцы с квазиизотропной укладкой 0,05%, уровень сохранения свойств у этих образцов равен 93 и 91% соответственно. В результате экспозиции в течение 30 сут в воде сохранение прочности в обоих случаях находится на уровне 90–91%, а привес образцов практически одинаков и составляет 0,11–0,12%.

Следует отметить, что в случае образцов с квазиизотропной укладкой, изготовленных для испытания по ГОСТ 25.602–82, на первых этапах экспозиции наблюдается более активное влагопоглощение по сравнению с однонаправленными образцами. Это, вероятно, связано с тем, что диффузия воды вдоль направления волокна проходит легче, чем поперек. Облегчение процесса диффузии воды внутрь образцов пластика с квазиизотропной укладкой также обеспечивается большим содержанием дефектов на его сторонах, подвергнутых механической обработке, по сравнению с однонаправленными образцами.

Таким образом, можно наблюдать, что однонаправленный пластик в меньшей степени подвержен воздействию воды и влажной среды в отличие от пластика с квазиизотропной укладкой.

Необходимо отметить, что по приведенным выше характеристикам углепластик может конкурировать с отечественными и зарубежными аналогами. В работе [1] приведены значения водопоглощения за 24 ч экспозиции, которое составило 0,09% у пластика КТМУ-1 и 0,31% у КТМУ-2, а сохранение прочности при сжатии этих материалов после 30 сут экспозиции в воде находится на уровне 97 и 95% соответственно. В работах [21–23] зарубежные аналоги исследуемого углепластика в результате тепловлажностного старения характеризуются снижением прочности при растяжении на 5–8%, при изгибе – на 17–25% и ударной вязкости – на 9–12%.

На рис. 2 приведены кривые водо- и влагопоглощения в зависимости от продолжительности экспозиции (испытание проведено на стандартных образцах). Видно, что углепластик характеризуется низкими равновесными значениями влаго- и водопоглощения: 0,107 и 0,12% соответственно, а его насыщение наступает на 45 сут в обоих случаях. Причем поглощение пластиком влаги и воды в первые 10 сут экспозиции находится практически на одном уровне, что свидетельствует о насыщении преимущественно

участков образцов, предварительно подвергнутых механической обработке и имеющих наибольшее количество дефектов.

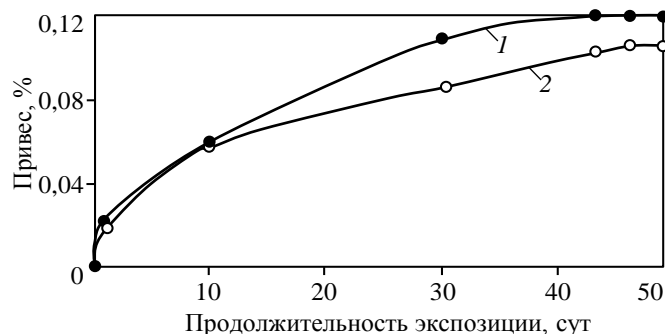


Рисунок 2. Кинетические зависимости водо- (1) и влагопоглощения (2) углепластика

Тепловлажностное старение углепластика в течение 30 сут сопровождалось снижением его прочности при сжатии на 6%, что свидетельствует о стойкости материала к воздействию влаги при повышенных температурах.

На рис. 3 приведены зависимости тангенса угла механических потерь от температуры образцов углепластика после их экспозиции в различных средах. Видно, что после выдержки в воде и тепловлажностного старения наблюдается тенденция к повышению температуры стеклования углепластика. Это может свидетельствовать о протекании релаксационных процессов в полимерной матрице.

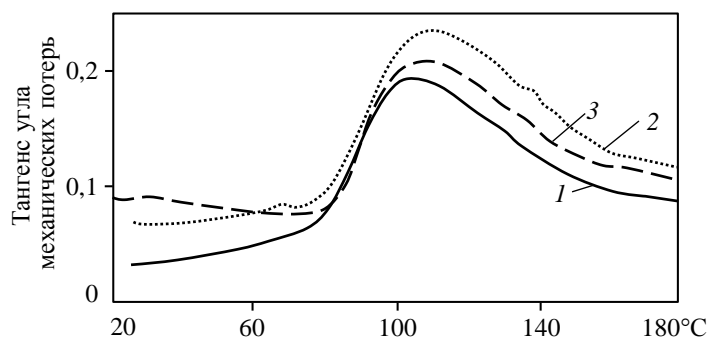


Рисунок 3. Зависимость тангенса угла механических потерь от температуры углепластика: 1 — в исходном состоянии; 2 — после 24 ч водопоглощения; 3 — после 30 сут тепловлажностного старения

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о том, что углепластик устойчив к воздействию воды и влажной среды, в том числе и при повышенных температурах, имеет высокий уровень сохранения свойств и конкурентоспособен по приведенным характеристикам с зарубежными и отечественными аналогами.

В табл. 2 приведены результаты влияния теплового старения и циклического перепада температур на прочность при сжатии углепластика с квазиизотропной укладкой.

Из представленных данных следует, что углепластик характеризуется высоким уровнем сохранения прочности при сжатии. После воздействия циклических перепадов температур от -60 до $+160^{\circ}\text{C}$ в течение 5 и 10 циклов прочность при сжатии углепластика снижается на 5 и 9% соответственно. На рис. 4 приведены графики зависимости тангенса угла механических потерь после термоциклирования, на которых можно наблюдать смещение температуры стеклования углепластика в область более высоких температур – на $\sim 10^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2

Прочность при сжатии углепластика после воздействия климатических факторов при температуре испытания 20°C

Климатический фактор	Продолжительность воздействия	Предел прочности при сжатии, МПа	Уровень сохранения свойств*, %
В исходном состоянии	–	490	–
Тепловое старение при температуре, $^{\circ}\text{C}$:			
160	500 ч	410	83
180	500 ч	455	93
Термоциклирование при $-60 \rightleftharpoons +160^{\circ}\text{C}$	5 циклов	465	95
	10 циклов	445	91

* Относительно исходного значения.

В результате теплового старения углепластика в течение 500 ч при температурах 160 и 180°C наблюдается сохранение прочности при сжатии на уровне 83 и 93% соответственно. Для того чтобы выявить причины такого поведения углепластика, необходимо обратиться к зависимостям тангенса механических потерь от температуры (см. рис. 4). Представленные зависимости демонстрируют, что в результате выдержки при 180°C повышение температуры стеклования происходит на $\sim 15^{\circ}\text{C}$, в то время как в результате экспозиции при 160°C увеличение температуры стеклования происходит на $\sim 10^{\circ}\text{C}$. Таким образом, выдержка углепластика при повышенных температурах сопровождается не только деструктивными процессами, но и релаксацией, позволяющей снять внутренние напряжения. Причем более высокая температура экспозиции пластика способствует более активному протеканию релаксации внутренних напряжений.

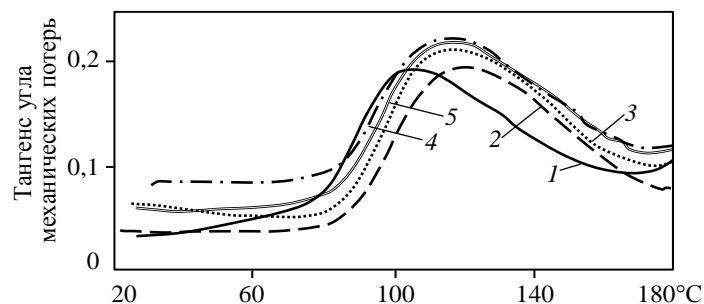


Рисунок 4. Зависимость тангенса угла механических потерь от температуры углепластика: 1 – в исходном состоянии; 2, 3 – после 500 ч выдержки при температуре 180 и 160°C; 4, 5 – после термоциклирования при перепаде температур от -60 до +160°C в течение 5 и 10 циклов

Таким образом, углепластик продемонстрировал высокий уровень стойкости к воздействию повышенных температур и их циклическому перепаду, что позволяет рекомендовать его для эксплуатации в широком диапазоне температур – от -60 до +160°C.

Заключение

Исследуемый углепластик характеризуется высокой стойкостью к воздействию воды и влажной среды, имеет высокий уровень сохранения свойств.

Углепластик мало подвержен воздействию теплового старения и циклических перепадов температур и может эксплуатироваться в широком температурном диапазоне – от -60 до +160°C.

Использованный в работе углепластик может быть рекомендован для производства малонагруженных и неответственных элементов и агрегатов воздушных судов: лобовиков крыла, зализов мотогондол, панелей люков, перегородок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сироткин О.С., Андрунина М.А., Бейдер Э.Я. Новые конструкционные и функциональные ПКМ на основе термопластов и технологии их формования //Авиационная промышленность. 2012. №4. С. 43–47.
2. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л. Стеклопластики на термопластичной матрице //Труды ВИАМ. 2013. №7. Ст. 03 (viam-works.ru).
3. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я., Изотова Т.Ф., Малышенко С.В. Композиционные термопластичные материалы – способы получения и переработки //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2013. №10. С. 10–17.

4. Бейдер Э.Я., Малышенко С.В., Петрова Г.Н. Композиционные термопластичные материалы – свойства и способы переработки //Пластические массы. 2013. №7. С. 56–60.
5. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Гуреева Е.В. Композиционные термопластичные материалы и пенополиимиды //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 01 (viam-works.ru).
6. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
7. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
8. Гуняев Г.М., Чурсова Л.В., Комарова О.А., Гуняева А.Г. Конструкционные углепластики, модифицированные наночастицами //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 277–286.
9. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
10. Гуляев И.Н., Власенко Ф.С., Зеленина И.В., Раскутин А.Е. Направления развития термостойких углепластиков на основе полиимидных и гетероциклических полимеров //Труды ВИАМ. 2014. №1. Ст. 04 (viam-works.ru).
11. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: НОТ. 2008. 820 с.
12. Кербер М.Л., Виноградов В.М. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб.: Профессия. 2009. 560 с.
13. Ноздрина Л.В., Короткова В.И., Бейдер Э.Я. Применение композиционных материалов с термопластичной матрицей //Конструкции из композиционных материалов. 1991. №1. С. 18–24.
14. Устинов В.А., Бейдер Э.Я. Применение композиционных материалов с термопластичной матрицей //Конструкции из композиционных материалов. 1991. №1. С. 25–32.
15. Petrova G.N., Beider E.Ya. Construction materials based on reinforced thermoplastics //Russian Journal of General Chemistry. 2011. Т. 81. №5. P. 1001–1007.
16. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 412–423.

17. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. II. Релаксация исходной структурной неравновесности и градиент свойств по толщине //Деформация и разрушение материалов. 2012. №6. С. 17–19.
18. 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. 19–27.
19. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения //Деформация и разрушение материалов. 2011. №1. С. 34–40.
20. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Деев И.С., Никишин Е.Ф. Свойства полимерных композиционных материалов после воздействия открытого космоса на околоземных орбитах //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №10. С. 2–9.
21. Chen-chi M.M., Chang-lun L., Min-jong C., Wyan-hwa T. Effect of physical aging on the toughness of carbon fiber-reinforced poly(ether ether ketone) and poly(phenylene sulfide) composite //Polymer composite. 1992. V. 13. №6. P. 441–447.
22. Chen-chi M.M., Chang-lun L., Min-jong C., Wyan-hwa T. Hydrothermal behavior of carbon fiber-reinforced poly(ether ether ketone) and poly(phenylene sulfide) composite //Polymer composite. 1992. V. 13. №6. P. 448–453.
23. Batista N.L., Faria M.C.M., Jha K., Olivera P.C., Bothelho E.C. Influence of water immersion and ultraviolet weathering on mechanical properties of polyphenylene sulfide-carbon fiber composites //Journal of thermoplastic composite materials. 2013. №1. P. 1–17.
24. Choqueuse D., Davies P., Mareas F., Baireur R. Aging of Composites in water: comparison of five materials in term of absorption kinetics and revolution of mechanical properties //Polymeric composites. 1997. V. 2. P. 73–96.
25. Ishak Z.A., Berry J.P. Hygrothermal aging studies of short carbon fiber reinforced nylon 6.6 //Journal of applied polymer science. 1994. V. 51. №13. P. 2144–2155.
26. Amore A.D., Cocchini K., Pompo A., Apicella A., Nicolais L. The effect of physical aging on long-term properties of poly ether-ketone (PEEK) and PEEK based composites //Journal of applied polymer science. 1990. V. 39. P. 1163–1174.
27. Dao D., Hodgkin J., Krstina J., Mardel J., Tian W. Accelerated aging versus realistic aging aerospace composites. II Chemistry of thermal aging //Journal of applied polymer science. 2006. V. 102. P. 3221–3232.

REFERENCES LIST

1. Sirotkin O.S., Andriunina M.A., Bejder Je.Ja. Novye konstrukcionnye i funkcional'nye PKM na osnove termoplastov i tehnologii ih formovaniya [New structural and functional PTP-based thermoplastics and their molding technology] //Aviacionnaja promyshlennost'. 2012. №4. S. 43–47.
2. Bejder Je.Ja., Petrova G.N., Izotova T.F., Barbot'ko S.L. Stekloplastiki na termoplastichnoj matrice [GRP thermoplastic matrix] //Trudy VIAM. 2013. №7. St. 03 (viam-works.ru).
3. Petrova G.N., Bejder Je.Ja., Izotova T.F., Malysheok S.V. Kompozicionnye termoplastichnye materialy – sposoby poluchenija i pererabotki [Composite thermoplastic materials – methods of obtaining and processing] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2013. №10. S. 10–17.
4. Bejder Je.Ja., Malysheok S.V., Petrova G.N. Kompozicionnye termoplastichnye materialy – svojstva i sposoby pererabotki [The composite thermoplastic materials – properties and processing methods] //Plasticheskie massy. 2013. №7. S. 56–60.
5. Bejder Je.Ja., Petrova G.N., Izotova T.F., Gureeva E.V. Kompozicionnye termoplastichnye materialy i penopoliimidy [Composite and thermoplastic materials penopoliimidy] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 01 (viam-works.ru).
6. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry aviation materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
7. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and processing technologies for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
8. Gunjaev G.M., Chursova L.V., Komarova O.A., Gunjaeva A.G. Konstrukcionnye ugleplastiki, modificirovannye nanochasticami [Structural carbon composites modified nanoparticles] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 277–286.
9. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2008. №3. S. 2–14.
10. Guljaev I.N., Vlasenko F.S., Zelenina I.V., Raskutin A.E. Napravlenija razvitija termostojkih ugleplastikov na osnove poliiimidnyh i geterociklicheskih polimerov [Direction of the heat-resistant carbon-fiber-based polyimide and heterocyclic polymers] //Trudy VIAM. 2014. №1. St. 04 (viam-works.ru).

11. Mihajlin Ju.A. Konstrukcionnye polimernye kompozicionnye materialy [Structural polymer composite materials]. SPb.: NOT. 2008. 820 s.
12. Kerber M.L., Vinogradov V.M. Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tehnologija [Polymer composite materials: structure, properties, technology]. SPb.: Professija. 2009. 560 s.
13. Nozdrina L.V., Korotkova V.I., Bejder Je.Ja. Primenenie kompozicionnyh materialov s termoplastichnoj matricej [The use of composite materials with a thermoplastic matrix] //Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 1991. №1. S. 18–24.
14. Ustinov V.A., Bejder Je.Ja. Primenenie kompozicionnyh materialov s termoplastichnoj matricej [The use of composite materials with a thermoplastic matrix] //Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 1991. №1. S. 25–32.
15. Petrova G.N., Beider E.Ya. Construction materials based on reinforced thermoplastics //Russian Journal of General Chemistry. 2011. T. 81. №5. P. 1001–1007.
16. Kirillov V.N., Starcev O.V., Efimov V.A. Klimaticheskaja stojkost' i povrezhdaemost' polimernyh kompozicionnyh materialov, problemy i puti reshenija [Weather resistance and defectiveness of polymer composite materials, problems and solutions] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 412–423.
17. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. II. Relaksacija ishodnoj strukturnoj neravnovesnosti i gradient svojstv po tolshhine [Climatic aging of composite materials aviation applications. II. Relaxation of the original structural and non-equilibrium properties of gradient across the thickness] //Deformacija i razrushenie materialov. 2012. №6. S. 17–19.
18. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. I. Mehanizmy starenija [Climatic aging of composite materials aviation applications. I. Mechanisms of aging] //Deformacija i razrushenie materialov. 2010. №11. S. 19–27.
19. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. III. Znachimye faktory starenija [Climatic aging of composite materials aviation applications. III. Significant factors of aging] //Deformacija i razrushenie materialov. 2011. №1. S. 34–40.
20. Kablov E.N., Starcev O.V., Deev I.S., Nikishin E.F. Svojstva polimernyh kompozicionnyh materialov posle vozdejstvija otkrytogo kosmosa na okolozemnyh orbitah [Prop-

- erties of polymer composite materials after exposure to the open space in Earth orbits] //Vse materialy. Jenciklopedicheskiy spravochnik. 2012. №10. S. 2–9.
21. Chen-chi M.M., Chang-lun L., Min-jong C., Wyan-hwa T. Effect of physical aging on the toughness of carbon fiber-reinforced poly(ether ether ketone) and poly(phenylene sulfide) composite //Polymer composite. 1992. V. 13. №6. P. 441–447.
 22. Chen-chi M.M., Chang-lun L., Min-jong C., Wyan-hwa T. Hydrothermal behavior of carbon fiber-reinforced poly(ether ether ketone) and poly(phenylene sulfide) composite //Polymer composite. 1992. V. 13. №6. P. 448–453.
 23. Batista N.L., Faria M.C.M., Jha K., Olivera P.C., Bothelho E.C. Influence of water immersion and ultraviolet weathering on mechanical properties of polyphenylene sulfide-carbon fiber composites //Journal of thermoplastic composite materials. 2013. №1. P. 1–17.
 24. Choqueuse D., Davies P., Mareas F., Baireur R. Aging of Composites in water: comparison of five materials in term of absorption kinetics and revolution of mechanical properties //Polymeric composites. 1997. V. 2. P. 73–96.
 25. Ishak Z.A., Berry J.P. Hygrothermal aging studies of short carbon fiber reinforced nylon 6.6 //Journal of applied polymer science. 1994. V. 51. №13. P. 2144–2155.
 26. Amore A.D., Cocchini K., Pompo A., Apicella A., Nicolais L. The effect of physical aging on long-term properties of poly ether-ketone (PEEK) and PEEK based composites //Journal of applied polymer science. 1990. V. 39. P. 1163–1174.
 27. Dao D., Hodgkin J., Krstina J., Mardel J., Tian W. Accelerated aging versus realistic aging aerospace composites. II Chemistry of thermal aging //Journal of applied polymer science. 2006. V. 102. P. 3221–3232.