

Научная статья

УДК 620.193+620.197

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-108-126

90-ЛЕТНЯЯ ПРАКТИКА ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ

*В.В. Антипов¹, В.А. Дуюнова¹, М.С. Оглодков¹,
М.А. Фомина¹, Т.П. Французова¹, И.А. Козлов¹*

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Изложены результаты практических исследований коррозионной стойкости металлических материалов, используемых в конструкциях отечественной авиационной техники, за многолетний период. В работе соблюдена хронология исследований и разработок противокоррозионной защиты. Изложены проблемные вопросы в части климатической и биологической стойкости материалов. Приведены типовые коррозионные разрушения металлических материалов из-за коррозионного растрескивания, применения технических жидкостей и топлив, а также контакта разнородных материалов. Представлены технологические решения по противокоррозионной защите, принятые на разных этапах ее развития, которые являются актуальными и в настоящее время.

Ключевые слова: авиационная техника, воздушные суда, коррозия, защитные покрытия, антикоррозионная защита, конструкционные материалы

Для цитирования: Антипов В.В., Дуюнова В.А., Оглодков М.С., Фомина М.А., Французова Т.П., Козлов И.А. 90-летняя практика противокоррозионной защиты // Труды ВИАМ. 2022. № 6 (112). Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-108-126.

Scientific article

90-YEAR PRACTICE OF ANTICORROSIVE PROTECTION

*V.V. Antipov¹, V.A. Duyunova¹, M.S. Oglochkov¹,
M.A. Fomina¹, T.P. Frantsuzova¹, I.A. Kozlov¹*

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. Results of practical researches of corrosion resistance of the metal materials used in designs of domestic aviation engineering, for the long-term period are stated. In work the chronology of researches and development of anticorrosive protection is observed. Problem questions regarding climatic and biological firmness of materials are stated. Standard corrosion destructions of metal materials because of corrosion cracking, application of technical liquids and fuels, and also contact of diverse materials are given. Technological decisions on the anticorrosive protection, its developments accepted at different stages which are actual and now are provided.

Keywords: aviation equipment, aircraft, corrosion, protective coatings, anti-corrosion protection, structural materials

For citation: Antipov V.V., Duyunova V.A., Oglochkov M.S., Fomina M.A., Frantsuzova T.P., Kozlov I.A. 90-year practice of anticorrosive protection. *Trudy VIAM*, 2022, no. 6 (112), paper no. 10. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-108-126.

Введение

Вопрос защиты металлических материалов от коррозии, как и век назад, является актуальным и в настоящее время. Страны по всему миру ежегодно несут огромные экономические потери вследствие воздействия коррозии. По разным подсчетам от 1 до 5 % валового внутреннего продукта приходится на ущерб от коррозионных разрушений. В Китае потери от воздействия коррозии составляют 3,3 % от ВВП, в США – 3,1 %, в Великобритании – 3,5 %, в Германии – 2,8 %, в Японии – 1 %. В России подобная статистика не ведется, но по опыту других стран становится понятно, что экономические потери в нашей стране составляют от 1,3 до 6,5 трлн руб. в год.

В авиационной технике, особенно гражданского назначения, особое внимание уделяется противокоррозионной защите и ресурсу металлических конструкций. Во Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов (далее – ВИАМ) на протяжении уже 90 лет ведется борьба с коррозией. На данный момент это ведущий материаловедческий центр Российской Федерации.

В настоящее время вклад ВИАМ в решение указанной проблемы невозможно представить без исследований выдающегося ученого, доктора технических наук, профессора, основателя отечественной школы коррозии металлов и сплавов Георгия Владимировича Акимова. Еще в далеком 1928 г. он организовал и возглавил на тот момент единственную коррозионную лабораторию в Центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ). Долгое время эта лаборатория оставалась единственной лабораторией подобного профиля в стране. В 1932 г. она в составе отдела испытания авиационных материалов была преобразована во Всесоюзный научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ). В настоящее время сотрудники лаборатории занимаются исследованием влияния климатических факторов и агрессивных сред на свойства материалов, разрабатывают системы противокоррозионной защиты полуфабрикатов, деталей и изделий авиационной техники при эксплуатации и хранении.

Во всем мире большое внимание уделяется климатическим испытаниям в естественных условиях, постоянно расширяется география представительных пунктов для проведения экспозиции перспективных и типовых материалов. В нашей стране при участии Георгия Владимировича Акимова были созданы коррозионные станции в различных климатических зонах. Сотрудники ВИАМ продолжили дело ученого, и в 2009 г. в эксплуатацию был введен Геленджикский центр климатических испытаний (ГЦКИ), которому позднее присвоили имя Г.В. Акимова. В ГЦКИ на современном оборудовании проводят исследования старения, биоповреждений и коррозионной стойкости самых разных материалов в атмосфере и морской воде [1]. Все испытания осуществляются по современной методологии и соответствуют стандартам: ГОСТ, ISO и ASTM.

Несмотря на то, что основы системы борьбы с коррозией были заложены еще в прошлом веке, в настоящее время исследователи коррозионных процессов сталкиваются с новыми вызовами, которые нуждаются в решении.

Практика противокоррозионной защиты

Начиная с основания ВИАМ и по настоящее время, в институте изучают причины возникновения коррозионных процессов, разрабатывают защитные покрытия и рекомендации по предотвращению коррозии не только летательных аппаратов, но и других изделий и конструкций [2–4].

В начале деятельности института, в 1930-х гг., исследовались повреждения деревянных частей самолетов, покрытых тканью и специальными лакокрасочными покрытиями (ЛКП). Например, изучались повреждения многоцелевого одномоторного самолета и одномоторного истребителя-моноплана, созданного в Опытно-конструкторском бюро

(ОКБ) Н.Н. Поликарпова (рис. 1), а также десантного планера конструкции П.В. Цыбина и советского штурмовика времен Второй мировой войны, созданного в ОКБ-240 под руководством С.В. Ильюшина [5, 6].



Рис. 1. Микологические повреждения центроплана крыла многоцелевого одномоторного самолета, созданного в ОКБ Н.Н. Поликарпова

Сотрудники ВИАМ выявили причину микологических повреждений, возникших в результате двухлетней эксплуатации летательных аппаратов. Местное увлажнение, недостаточная грибоустойчивость древесных материалов, а также использование клеев белкового происхождения привели к появлению грибка и трещин на крыльях летательных аппаратов. В качестве мер по предотвращению дальнейших коррозионных разрушений предложено антисептировать материалы и дренировать конструкции. Для советской летающей лодки, разработанной в Центральном конструкторском бюро морского самолетостроения под руководством Г.М. Бериева, помимо перечисленных мер защиты, разработан новый способ защиты днища лодки с использованием ткани на клею ВИАМ-БЗ [1]. Предложено в местах контакта днища с водой наносить дополнительный слой с глифтальевым покрытием.

Коррозионные исследования проводили также для высотного истребителя, разработанного в ОКБ А.И. Микояна (рис. 2). Причинами меления и растрескивания ЛКП на деревянных обшивках оказались старение покрытий при длительном воздействии солнечных лучей и недостаточная атмосферостойкость применяемой для обшивки альбуминовой фанеры. Для решения возникшей проблемы провели профилактический ремонт ЛКП и применили бакелитовую атмосферостойкую фанеру, а также специальные чехлы для крыльев, защищающие поверхность от увлажнения, обледенения и воздействия солнечных лучей в периоды стоянки [7].

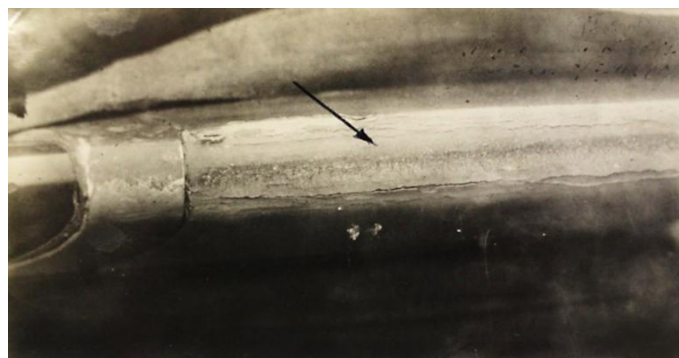


Рис. 2. Трещины лакокрасочного покрытия на законцовке крыла высотного истребителя, созданного в ОКБ А.И. Микояна

Впервые было установлено и негативное влияние графита на металлические материалы пассажирского самолета, разработанного в ОКБ С.В. Ильюшина. Многомесячные стоянки без должного ухода в атмосфере, загрязненной промышленными газами, контакт с графитированным асбестом и воздействие воды с примесью тетраэтила свинца привели к поражениям обшивок крыла, труб и внутренней поверхности днища бензобака [8], а воздействие продуктов сгорания этилированного топлива – к развитию межкристаллитной и расслаивающей коррозии стыковых угольников крыла (рис. 3).

В ВИАМ коррозионные исследования проходили немало самолетов производства ОКБ А.Н. Туполева. Так, в послевоенные годы сотрудники института исследовали коррозию деталей поршневого советского стратегического бомбардировщика. Ряд деталей подвергся коррозионному растрескиванию (рис. 4) за 4–5 лет эксплуатации из-за длительного действия нерасчетных нагрузок и коррозионной среды [9, 10].



Рис. 3. Коррозия стыкового угольника центроплана крыла самолета, разработанного в ОКБ С.В. Ильюшина

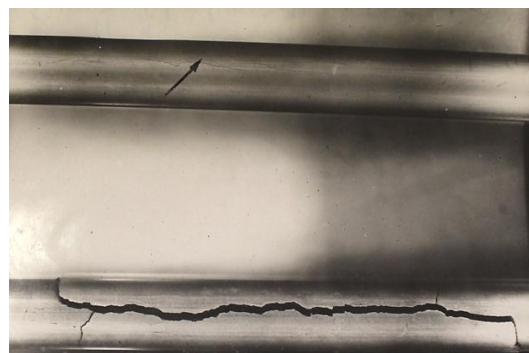


Рис. 4. Коррозионное растрескивание анодированных труб трансмиссии вала закрылка стратегического бомбардировщика, созданного в ОКБ А.Н. Туполева

Для предотвращения подобных разрушений предложено систематически контролировать регулировку вала трансмиссии и усилить защиту от коррозии. У ряда машин, созданных в ОКБ А.Н. Туполева, наблюдались похожие повреждения внешней и нижней обшивок крыла [8]. Причиной этого стала недостаточная защита поверхности. Работники ВИАМ предложили использовать для усиления защиты систему ЛКП, содержащую грунт и эмаль.

При изучении коррозионных повреждений первого советского пассажирского самолета на реактивной тяге, разработанного в ОКБ А.Н. Туполева, выявлен ряд зон, в которых в процессе эксплуатации созданы условия для возникновения и интенсивного развития коррозии. Появление таких зон в основном связано с недостатками конструктивного исполнения и вследствие этого недопустимого воздействия коррозионно-активных сред на используемые системы антикоррозионной защиты. Наиболее подверженными коррозии участками конструкции данного самолета являются: поперечный и продольный наборы фюзеляжа под полами (стрингеры, компенсаторы, шпангоуты и т. д.); наружная и внутренняя поверхности обшивки фюзеляжа, особенно в зонах санузла, аккумуляторных батарей и выхлопа; магниевые каркасы фонаря кабины штурмана; стальные каркасы фонаря кабины пилотов; обшивка рулей высоты; ниша аккумуляторов и т. д. Так, например, одним из видов поражений стала коррозия деталей под полом гермокабины и санузла из-за скопления воды с примесью коррозионно-активных веществ. В доработанной версии советского пассажирского самолета с увеличенным количеством пассажиромест и более мощными двигателями также возникали подобные случаи коррозии. Из-за повреждения защитных покрытий и недостатка смазки корродировали кронштейн багажного люка (рис. 5) и каркас фонаря кабины штурмана из сплава МЛ5-Т4, предварительно оксидированного и покрытого ЛКП, а также обшивка фюзеляжа из анодированного и покрытого грунтом сплава Д16-АТВ [9, 10].



Рис. 5. Коррозия кронштейна багажного люка самолета, созданного в ОКБ А.Н. Туполева, из сплава МЛ5-Т4, оксидированного и защищенного лакокрасочным покрытием

В ходе исследований другого самолета гражданской авиации, созданного в ОКБ А.Н. Туполева, позднее было установлено, что на отдельных деталях и элементах конструкции уже при 200-часовой эксплуатации возникают коррозионные повреждения. Коррозию обнаруживали на отдельных заклепках посадочных щитков, зализов и створок шасси, выступающих головках винтов, болтов, верхней поверхности стабилизатора, рулей высоты и т. д. На всех перечисленных участках коррозия носила поверхностный характер, ее отмечали в местах механического разрушения защитных покрытий или недостаточной смазки. В качестве рекомендаций предложено провести возможные конструктивные усовершенствования планера самолета для исключения факторов, вызывающих коррозию его элементов. Для устранения возможности попадания воды из раковины буфета в салон самолета и подпольное пространство необходимо доработать сливное устройство, а для устранения возможности попадания агрессивных жидкостей из санузла и водозаправочного бака в подполье и на пол туалетных комнат предложено улучшить герметизацию зоны санузла, клапанных устройств, сливных и заправочных кранов.

В ВИАМ также исследовали случаи коррозионных поражений на трехдвигательном реактивном пассажирском авиалайнере. За время его эксплуатации коррозии подвергались хвостовая часть фюзеляжа ниже пола у санузла, обшивка центральной части крыла под обтекателем, вал трансмиссии (рис. 6), сотовые клееные панели и другие детали [8]. Основные причины коррозии – длительное воздействие коррозионно-активных сред (чаще всего воды) на детали и недостаточная защита последних. Устранение взаимодействия с жидкостями, усиление защиты и замена одних материалов на другие позволили решить возникающие в процессе эксплуатации проблемы [11, 12].

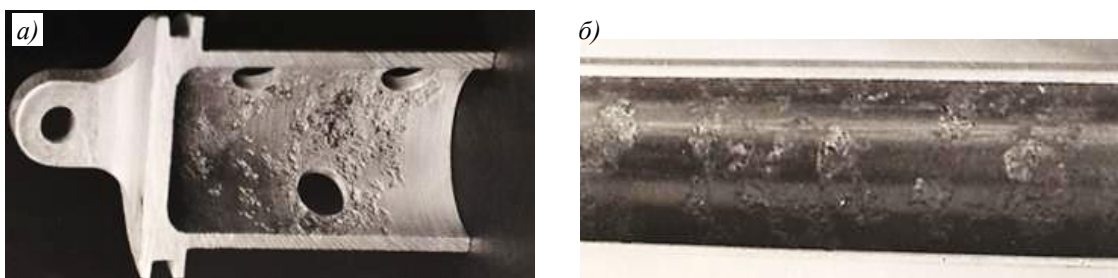


Рис. 6. Коррозия вала трансмиссии закрылков гражданского пассажирского самолета, разработанного в ОКБ А.Н. Туполева: наконечника (а) и трубы (б) из вороненой и загрунтованной стали 30ХГСА

Специалисты ВИАМ проводили эксплуатационные исследования и различных самолетов, изготавливаемых в ОКБ «Антонов» [13–17]. Так, исследование военно-

транспортного самолета выявило, что скопление влаги на потолке негерметичного отсека и внутри штепсельного разъема стало причиной коррозии каркаса и обшивки потолка, кронштейна узла управления на потолке и штырей штепсельного разъема систем управления воздушным винтом (рис. 7).

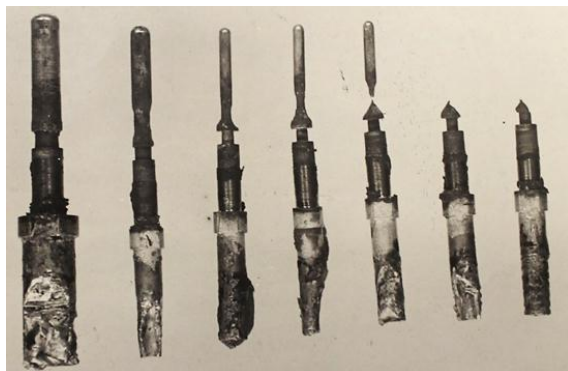


Рис. 7. Коррозия под током штырей штепсельного разъема системы управления воздушным винтом самолета, разработанного в ОКБ «Антонов»

После трехлетней эксплуатации на турбовинтовом самолете наблюдали отслоения клеевых валиков, клея и коррозию обшивки и сварных точек на стрингере. Сотрудники ВИАМ выяснили, что причинами появления подобных дефектов стали скопление воды под полом гермокабины, а также непроклеи и пористость в слое клея ФЛ-4С. Помимо рекомендации об исключении скоплений воды предложено применять сварку по клею ВК-1МС вместо ранее используемого клея ФЛ-4С. Несоответствие характеристик защитных покрытий жестким требованиям эксплуатации в условиях побережья Индийского океана и длительные перерывы между полетами привели к коррозии панели центроплана крыла и лопастей воздушного винта [18]. Применение защитных покрытий, предназначенных для изделий, эксплуатируемых в морских условиях, позволило продлить работоспособность деталей другого изделия, изготавливаемого в ОКБ «Антонов» [1]. По результатам исследований также разработана технология обслуживания, в которую входили технологии восстановления ЛКП, подготовка лакокрасочных материалов, удаление старого покрытия и обнаружение коррозионных поражений. Кроме того, в технологии обслуживания описаны различные неразрушающие методы контроля, позволяющие обнаружить повреждения конструкции, которые сложно распознать при визуальном осмотре [13, 19].

На тяжелом турбовинтовом транспортном самолете, разработанном в ОКБ «Антонов», после шести лет эксплуатации выявлено повреждение клеесварной панели стабилизатора. На панели отслаивались валики клея (рис. 8), а на внешней поверхности нижней панели были видны сквозные коррозионные повреждения сварных точек. Сотрудники ВИАМ объяснили данное явление отсутствием защиты металла в клеесварном соединении. В качестве рекомендаций предложено ограничить применение клеесварных соединений в конструкциях, которые подвергаются воздействию коррозионно-активных сред и значительных вибраций. Вместо заливки клея К-4С в зазоры точечных сварных соединений также предложено применять сварку по клею ВК-1МС и исключить из технологии операцию образования клеевых валиков.

Воздушные судна, созданные в ОКБ С.В. Ильюшина, также проходили исследования, направленные на обнаружение и предотвращение коррозии [20]. В ходе таких испытаний на ряде самолетов наблюдали точечную коррозию наружной поверхности полированной обшивки в районе санузлов. Коррозии подвергались также обшивка с внутренней стороны, стрингер в грузовых отсеках и в районе шпангоутов. Отдельные поражения отмечены на стальных деталях самолетов, узлах стыка шасси, креплениях

лючков по нижней панели крыла, качалке укрепления тяги руля поворота и т. д. Коррозия на всех осмотренных деталях носила поверхностный характер и возникла в зонах механических повреждений защитных покрытий или некачественной смазки [18]. В качестве рекомендаций предложено ускорить внедрение неразрушающих методов контроля коррозионного состояния обшивки и стрингера в подпольном пространстве фюзеляжа на ремонтных и эксплуатирующих предприятиях, ввести контроль коррозионного состояния нижней панели кессон-бака, обшивки в зоне крепления системы кондиционирования воздуха, наружных поверхностей прессованных панелей. Кроме того, при обнаружении повреждений предложена технология восстановления покрытий.



Рис. 8. Панель стабилизатора самолета, разработанного в ОКБ «Антонов», с отслоившимися валиками клея

У пассажирского турбовинтового лайнера, созданного в ОКБ С.В. Ильюшина, также возникали проблемы с коррозией. Наиболее часто были подвержены коррозии следующие зоны конструкции самолета: внутренняя поверхность обшивки в подпольной части фюзеляжа; стрингеры, компенсаторы, шпангоуты в подпольной части фюзеляжа и в районе установки санузла; стенка, лучи на задней герметичной стенке; детали управления – качалки, кронштейны; наружная поверхность обшивки стабилизатора, рулей высоты и поворота, киля, элеронов; направляющие тяг рулей поворота и высоты; каркас запасного выхода и т. д. Помимо этого, в нескольких случаях еще до сдачи в эксплуатацию некоторые самолеты данного типа с незавершенной защитой ЛКП после четырехмесячной стоянки на заводском аэродроме подвергались коррозии из-за отсутствия должного ухода. Другой пример: после 17 лет эксплуатации лайнера в Азербайджанском управлении гражданской авиации вследствие жестких условий работы и отсутствия своевременного ремонта продукты коррозии наблюдали на лонжеронах центроплана и стабилизатора.

На советском тяжелом военно-транспортном самолете разработки ОКБ С.В. Ильюшина после шестилетней эксплуатации стали образовываться трещины обшивки около заклепок в результате концентрации напряжений, также наблюдалось самоотвинчивание винтов крепления стенки рельса закрылка из-за недостаточной прочности соединения. В качестве решения проблемы предложено применять комбинированное клееклепаное соединение. Коррозионные поражения наблюдали и в хвостовой панели крыла, а именно в сотовом наполнителе [8, 18]. В ходе исследования выяснили, что причина коррозии сотового наполнителя заключается в недостаточной точности изготовления деталей каркаса сотовых панелей, а также в механических повреждениях защитных покрытий на узлах из сплава МЛ5-Т4 (рис. 9). Повышение точности изготовления деталей и исключение механических повреждений позволили снизить скорость коррозионного процесса. Спустя два года эксплуатации наблюдали также повреждения сотовой клееной секции тормозного щитка. Причиной повреждений оказался местный

непроклей секции. В качестве решения предложено усилить контроль технологии склеивания, а также применять соты с ячейками размером 2,5 мм [21, 22].



Рис. 9. Коррозия литого узла из-под пола фюзеляжа из сплава МЛ5-Т4 тяжелого военно-транспортного самолета, разработанного в ОКБ С.В. Ильюшина

Аналогичные повреждения сотовой клееной секции наблюдали и после трехлетней эксплуатации четырехдвигательного широкофюзеляжного пассажирского самолета разработки ОКБ С.В. Ильюшина [21]. Однако здесь причина заключалась не только в непроклее (рис. 10), но и в разрушении осевого болта узла навески секции щитка, пораженного коррозией. Таким образом, можно сделать вывод, что в основном коррозии подвергались наружные поверхности прессованных панелей фюзеляжа и крыла самолетов из сплава Д16-Т в местах стыка панелей и отверстий под крепеж, зализ фюзеляжа, внутренняя поверхность прессованных панелей воздушного отсека кессона, а также законцовочные части крыла, головки фрезерованных заклепок и внешняя поверхность неокрашенных трубопроводов. Для защиты от коррозии разработан целый ряд мероприятий по предотвращению разрушений, включающий анодное оксидирование деталей из сплава Д16-Т, нанесение слоя грунтовки марок АК-0209 и ВЛ-02 по зенкованным поверхностям прессованных панелей, герметизация щелей и зазоров внешней поверхности планера с применением герметика ВИТЭФ-1 и др. [9, 10].



Рис. 10. Местный непроклей сотового клееного хвостового звена закрылка тяжелого военно-транспортного самолета, разработанного в ОКБ С.В. Ильюшина

Случаи коррозии на машинах, созданных в ОКБ С.А. Лавочкина, также изучались специалистами ВИАМ. Так, например, после годовой эксплуатации в изделиях наблюдали нарушения ЛКП на аэродинамическом ребре крыла, торцах обшивки фюзеляжа (рис. 11) и носке крыла самолета, а также коррозию законцовки крыла и головок

стальных заклепок [8]. В ходе исследований выявлено, что причиной подобных поражений стало воздействие спиртоглицериновой смеси, частиц песка и хлорида натрия, содержащихся в аэродромном грунте на взлетной и рулежных полосах. Своевременное восстановление ЛКП и исключение воздействия спиртоглицериновой смеси позволили продлить срок службы изделия.



Рис. 11. Коррозия съемной панели фюзеляжа из сплава МА1 самолета, разработанного в ОКБ С.А. Лавочкина, расположенной под расходными керосиновым и спиртоглицериновым баками

Среди летательных аппаратов, которые прошли эксплуатационные испытания в ВИАМ, можно найти и гидросамолеты, изготовленные на ПАО «Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева» (ТАНТК им. Г.М. Бериева). Одними из характерных повреждений изделия после двухлетней эксплуатации на Черном море были меление перхлорвиниловой эмали на носовой части лодки и закрылке правой консоли крыла, а также повреждения ЛКП при вытекании тиокола из заклепочного шва и при деформации днища лодки (рис. 12). Причинами данных повреждений являются длительное воздействие солнечных лучей, низкая термостойкость тиокола и большая деформация днища. В качестве решения проблем предложено своевременно проводить профилактический ремонт ЛКП, заменить тиокол на герметик У30М и сделать днище более жестким – в частности, путем применения клееклепаного соединения. Основным же поражающим фактором стала морская вода, в результате воздействия которой на обшивке лодки в контакте с накладкой через асбест, нижней поверхности крыла в зоне посадочной фарты, щеткодержателях генератора, металлизационной перемычке, экранировке электропроводов из медной луженой проволоки, трубках гидравлической системы кормовой установки и других деталях наблюдались коррозионные повреждения [1].



Рис. 12. Коррозия днища лодки гидросамолета, созданного на ТАНТК им. Г.М. Бериева, после стоянки в акватории Баренцева моря

Помимо этого, проводили исследования состояния лодки разработки ТАНТК им. Г.М. Бериева после трехлетней эксплуатации на Черном море. Выявлены коррозионные повреждения обшивки из сплава Д16-АТВ в контакте с узлом из стали 12Х18Н9Т через ЛКП и тиокол, кронштейна из сплава АК8 в контакте с подшипником из стали Х18 через грунт (рис. 13), трубки из сплава АМгб в месте зачистки ЛКП под металлизацию. Причина разрушений – недопустимые контакты алюминиевых сплавов с нержавеющей сталью и медью. Другими недостатками являются деформация днища и нарушение ЛКП на этом же месте из-за недостаточной его жесткости.

Многие воздушные судна, созданные в ОКБ А.С. Яковлева, также проходили коррозионные исследования в ВИАМ [23]. Так, случаи коррозии были зафиксированы на двухместных истребителях-перехватчиках. После двух лет эксплуатации и еще трех лет стоянки на нижней обшивке крыла (рис. 14) самолета наблюдали точечную коррозию, не выходящую за пределы плакировки сплава Д16-АВТ [8]. Выяснили, что причина кроется в длительной стоянке вне ангара без чехлов, недостаточном уходе и отсутствии дополнительного защитного слоя в виде ЛКП.



Рис. 13. Коррозия кронштейна из сплава АК8 в контакте с подшипниками из стали Х18 (через грунт) гидросамолета, разработанного на ТАНТК им. Г.М. Бериева



Рис. 14. Коррозия нижней обшивки из сплава Д16-АВТ закрылка самолета, созданного в ОКБ А.С. Яковлева

После восьмилетней эксплуатации турбореактивного пассажирского самолета разработки ОКБ А.С. Яковлева перед сотрудниками ВИАМ была поставлена задача – найти причины возникших коррозионных поражений. Так, причинами коррозии лонжерона центроплана из неанодированного сплава Д16-АВТ стали местное удаление анодной пленки при сборке и жесткие условия эксплуатации [9, 10]. Другая проблема – недостатки клеесварных и теплозвукоизоляционных панелей фюзеляжа, а именно непроклеи в соединении стрингера с обшивкой, вода над потолком и под полом гермокабины, провисание теплозвукоизоляционных (потолочных) панелей вследствие накопления в них воды. Причинами повреждений являлись несовершенство способа заливки клея в зазоры точечного сварного соединения и недостаточная эффективность слоя теплозвукоизоляции. В качестве рекомендаций предложено освоить способ точечной сварки по клею ВК-1МС и пересмотреть конструкцию теплозвукоизоляции.

С целью определения коррозионного состояния и выявления наиболее подверженных коррозии зон проведен анализ технического состояния среднемагистрального трехдвигательного пассажирского самолета, разработанного в ОКБ А.С. Яковлева, после его длительной эксплуатации. Полученные данные показали, что в умеренном климате коррозии подвергаются верхние прессованные панели центроплана из-за конденсата, скапливающегося в матах, а на нижней панели крыла с внутренней стороны между нервюрами развивается расслаивающая коррозия. Сильные коррозионные поражения, вплоть до сквозных, наблюдали на нижних плакированных листовых панелях фюзеляжа и пола

в районе санузлов, а также в районе порога и лонжерона багажника. На основании полученных данных разработаны рекомендации по приготовлению лакокрасочных материалов, удалению старых ЛКП, выявлению и удалению коррозии с поверхности деталей из алюминиевых сплавов, химической обработке деталей, усилению защиты участков после удаления коррозии, шпатлевке стыков прессованных панелей крыла и т. д. [18].

Истребители, созданные в ОКБ А.И. Микояна, также проходили исследования в ВИАМ, направленные на обнаружение и предотвращение коррозии. Так, в советском реактивном истребителе наблюдали повреждения остекления (рис. 15) после двух- и трехлетней эксплуатации. Жесткое крепление органического стекла стало причиной образования трещин за счет его внутренних напряжений. В качестве рекомендаций предложено заменить крепления на мягкие с использованием капроновых или лавсановых лент и клея. Помимо этого, на самолетах этого типа встречаются коррозионные повреждения нижней наружной поверхности обшивки фюзеляжа, внутренней поверхности обшивки в подпольной части, стрингеров, компенсаторов, шпангоутов в подпольной части фюзеляжа и в районе установки санузлов, элементов конструкции, расположенных в нише установки аккумуляторных батарей, и т. д.



Рис. 15. Трещина стекла кабины летчика самолета, разработанного в ОКБ А.И. Микояна

Для одноместного реактивного истребителя второго поколения проводили исследования коррозионных разрушений, а именно коррозии деталей закрылка после эксплуатации в течение одного года на аэродроме, загрязненном хлоридом натрия, – основной причины разрушений. Так, например, на обшивке из сплава МА8, защищенной оксидной пленкой и ЛКП, и на анодированном и грунтованном профиле из сплава Д16-АТВ наблюдали коррозионные поражения (рис. 16). В качестве рекомендации по предотвращению подобных повреждений выдвинуто предложение – не использовать для удаления льда с аэродрома хлорид натрия [9, 10].



Рис. 16. Коррозия обшивки из сплава МА8, защищенной оксидной пленкой и ЛКП, закрылка самолета, разработанного в ОКБ А.И. Микояна

Основным видом повреждений легкого сверхзвукового фронтового истребителя третьего поколения разработки ОКБ А.И. Микояна стала коррозия деталей сотового клееного закрылка. Похожие повреждения наблюдали и на самолетах, созданных позднее в этом конструкторском бюро. В качестве причины повреждений заявлено проникновение воды внутрь закрылка через зазоры между обшивкой и элементами каркаса. Для решения проблемы предложено склеивать обшивку с элементами каркаса и производить уплотнение и перекрытие зазоров с помощью герметика ВИТЭФ-1, разработанного в ВИАМ.

У сверхзвукового высотного двухдвигательного военного самолета наблюдали случаи разрушения сотового клееного элерона уже после одного года эксплуатации (рис. 17). Процесс коррозии протекал из-за проникновения воды в сотовый наполнитель через неуплотненные зазоры заклепочного соединения обшивки с элементами каркаса. Для предотвращения дальнейших разрушений предложено для подобных соединений применять клеепайку.

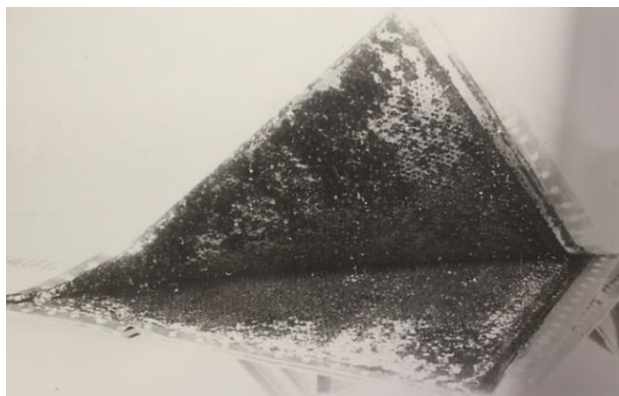


Рис. 17. Разрушение сотового клееного элерона самолета, разработанного в ОКБ А.И. Микояна

Ряд коррозионных поражений исследовали на многоцелевом истребителе третьего поколения разработки ОКБ А.И. Микояна с верхним расположением крыла изменяемой стреловидности. Одним из случаев разрушений стала коррозия сотового клееного руля поворота вследствие проникновения в него воды. В качестве решения данной проблемы рекомендовано уплотнить зазоры клеем и герметиком, а также дренировать рули. Применение дренажа рулей поворота в 1977 г. внедрено в серийное производство изделий, что исключило накопление воды в сотовом наполнителе, а следовательно, и подобные случаи разрушения.

Для вертолетов, разработанных в ОКБ М.Л. Миля, проводили аналогичные исследования по выявлению и предотвращению коррозии. Так, у многоцелевого вертолета в ходе исследований работниками ВИАМ выявлено несколько основных видов коррозионных повреждений. Во-первых, нарушение соединений хомутов с лонжероном в лопастях смешанной конструкции несущего винта (рис. 18). Причиной данного дефекта являлась низкая прочность паяного соединения, поэтому предложено применять склеивание хомутов с лонжероном. Во-вторых, на лопастях смешанной конструкции несущего винта вертолета заметны микологические повреждения древесных материалов из-за недостаточной водогрибостойкости казеинового клея и древесины бука. Решением данной проблемы стало антисептирование древесных материалов, применение клея ФР-12 и замена древесины бука древесиной ясеня. И наконец, еще одним видом повреждений является нарушение клеевых соединений в металлических лопастях несущего винта. Причина такого вида поражений кроется в недостаточной водостойкости клея МПФ-1. Замена данного клея на клей ВК-3 позволила решить эту проблему.



Рис. 18. Трещина припаянного хомута, соединенного с лонжероном, в лопастях смешанной конструкции несущего винта вертолета, разработанного в ОКБ М.Л. Миля

В ходе эксплуатации советского многоцелевого вертолета разработки ОКБ М.Л. Миля наблюдали случаи разрушения лопасти несущего винта, а именно местное нарушение клеевого соединения отсека с лонжероном, а также разрушения лопасти по месту нарушения клеевого соединения и последующей коррозии лонжерона. Основными причинами разрушения стали невыполнение рекомендаций об усилении защиты лонжерона от коррозии, эксплуатация лопасти с нарушенным клеевым соединением и, наконец, воздействие ядохимикатов, применяемых в сельском хозяйстве. Специалисты ВИАМ предложили ряд мер для решения возникших проблем: усилить защиту лонжерона, применив клей ВК-32-200 и герметик ВИТЭФ-1; не допускать к эксплуатации лопасти с нарушениями клеевых соединений [24].

Наблюдали также случаи нарушения клеевых соединений в лопастях несущего винта изделий (рис. 19). Удалось выяснить, что повреждения появились в результате недоотверждения фенолформальдегидных клеев и выброса на них избытка масла. Контроль заполнения бачков и своевременное устранение течи в случае ее возникновения позволили устранить нарушения клеевых соединений. Помимо этого, зафиксированы случаи разрушения хвостовых отсеков рулевых винтов из-за ослабления сотового наполнителя технологическими и перфорационными отверстиями с надрывами фольги и появления вмятин на обшивке вследствие небрежной эксплуатации. Для решения проблемы даны следующие рекомендации: сократить количество технологических отверстий, исключить надрывы фольги при перфорации и повысить культуру эксплуатации лопастей [25, 26].



Рис. 19. Нарушение клеевых соединений в лопастях несущего винта вертолета, разработанного в ОКБ М.Л. Миля

В рамках работы по повышению надежности защиты от коррозии лонжеронов лопастей тяжелого многоцелевого транспортного вертолета разработки ОКБ М.Л. Миля

проведено исследование возможности замены кадмиевых вакуумных покрытий на экологически менее вредные цинковые покрытия или покрытия сплавом Zn–Al без потери защитных свойств. В результате получена система защиты лонжеронов лопастей, удовлетворяющая требованиям охраны окружающей среды и при этом не уступающая по своим свойствам ранее используемым кадмиевым покрытиям [27].

Случаи коррозии на летательных аппаратах, созданных в ОКБ Н.И. Камова, также изучались специалистами ВИАМ [28]. Так, исследование вертолета, эксплуатируемого на флагмане китобойной флотилии «Слава», показало местные отслоения клеевых валиков и валиков с клеевой прослойкой. Основными причинами отслоений стали воздействия вибрационных нагрузок от несущего винта и недостаточная эластичность клея ВК-1МС. Проблему удалось решить с помощью замены клеесварного соединения клеевым с использованием клея ВК-3 на изделиях, находящихся в эксплуатации. Данную проблему решали применением валиков герметика ВИТЭФ-1.

Современные самолеты российского производства

Существенный вклад специалисты ВИАМ внесли в совершенствование антикоррозионной защиты современных пассажирских самолетов российского производства [29].

В процессе эксплуатации самолетов очаги коррозии выявлены на деталях из алюминиевых сплавов в местах сопряжения их с коррозионностойкой сталью и титановым сплавом (рис. 20).



Рис. 20. Контактная коррозия алюминиевой детали

С целью устранения коррозионных поражений и предотвращения появления новых специалистами ВИАМ проведен анализ производственной, эксплуатационной и ремонтной документации в части антикоррозионной защиты, а также осуществлены мероприятия на авиастроительных предприятиях по оценке процессов сборки и защиты от коррозии узлов и деталей.

Итогом работы стали технологические рекомендации по восстановлению антикоррозионного покрытия [30], а также указания по применению перспективных материалов и технологий, разработанных в ВИАМ. Данные технологии были внедрены и позволяют исключить возникновение коррозии алюминиевых сплавов в контакте с титановыми сплавами и нержавеющей сталью [9, 13].

В ВИАМ проведен комплекс исследований по оценке эффективности систем защитных покрытий, применяемых в конструкции консоли крыла современного изделия авиационной техники гражданского назначения для защиты полимерных композиционных материалов, алюминиевых сплавов и их соединений, в том числе при воздействии термовлажностного старения и агрессивных сред [8, 9, 31, 32].

В настоящее время в ВИАМ для ряда российских авиационных компаний выполнены работы по установлению причин возникновения в результате применения зарубежных смывок питтинговой коррозии на элементах обшивки воздушных судов.

Проведен также комплекс исследований по изучению влияния режимов нанесения смывок, широко используемых в мировой практике для осуществления ремонтных покрасочных работ воздушного судна. По итогам работ установлено, что существующие составы и технологии их применения имеют ряд недочетов и неточностей, что может приводить к развитию питтинговой коррозии на поверхности обшивки (рис. 21). В результате выданы соответствующие рекомендации и заключения.

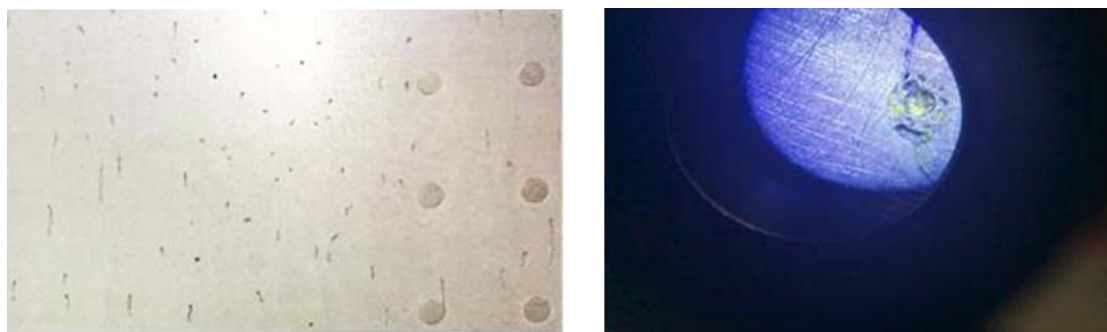


Рис. 21. Питтинговая коррозия на обшивке воздушного судна

Следует отметить, что в ВИАМ разработана смывка ВСС-1, которая имеет минимальную коррозионную агрессивность по отношению к металлическим материалам планера воздушного судна и может успешно заменить зарубежные аналоги, исключив случаи возникновения коррозии металлических материалов.

Заключения

Исследование коррозионной стойкости металлических материалов является важной и наукоемкой областью знаний. Накопление и систематизация данных о коррозионных свойствах материалов обеспечивает надежность авиационной техники при эксплуатации в различных климатических условиях.

При учете хронологии возникновения проблемных вопросов в части коррозии авиационной техники определены основные направления исследований коррозионной стойкости материалов, а также разработок антикоррозионных покрытий и составов.

Развитие конструкторской мысли, применение новых технологий изготовления и обработки металлических материалов и появление новых классов металлических материалов требуют непрерывного исследования их коррозионной стойкости, изыскания возможностей сочетания материалов в конструкции, а также разработки технологий антикоррозионной защиты и профилактических мероприятий [33].

Основные принципы создания металлических материалов, защитных и функциональных покрытий, разработанных в ВИАМ с момента его создания и по настоящее время, базируются на 90-летнем практическом опыте отечественного авиастроения и доказали свою надежность при эксплуатации отечественной и зарубежной авиационной техники.

Список источников

1. Антипов В.В., Курс М.Г., Гирш Р.И., Серебренникова Н.Ю. Натурные климатические испытания металлополимерных композиционных материалов типа СИАЛ в морском климате // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 4 (57). С. 56–64. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-56-64.

2. Каблов Е.Н. Становление отечественного космического материаловедения // Вестник РФФИ. 2017. № 3. С. 97–105.
3. Каблов Е.Н. Роль фундаментальных исследований при создании материалов нового поколения // Тез. докл. XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 6 т. СПб., 2019. Т. 4. С. 24.
4. Сучалкин Е.А. Авиации ВМФ России – 100 лет // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. № 1 (1). С. 372–382.
5. Гайдарев Р.В., Обертяева И.А. Легендарный самолет Великой отечественной войны – Ил-2 // Молодежный инновационный вестник. 2020. № 53. С. 20–22.
6. Мухин М.Ю. Из истории ВПК предвоенных и военных лет: организация работ в области реактивного самолетостроения в СССР в 1930-е – середине 1940-х годов // Труды Института российской истории РАН. 2017. № 14. С. 72–96.
7. Дугин Г.С., Мануйлов С.А. Обледенение воздушных судов. Условия возникновения и виды обледенения // Проблемы безопасности полетов. 2021. № 1. С. 27–40.
8. Тимошков П.Н., Гончаров В.А., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Особенности технологии и полимерные композиционные материалы для изготовления крыльев перспективных самолетов (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 1 (107). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.05.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-66-75.
9. Кутырев А.Е., Чесноков Д.В., Антипов В.В., Вдовин А.И. Исследование применения комбинированного анодного растворения алюминиевых сплавов с невысокой склонностью к МКК на примере сплава системы Al–Li–Cu с целью прогнозирования потери механических свойств при атмосферной коррозии // Труды ВИАМ. 2021. № 2 (96). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.05.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-2-109-118.
10. Антипов В.В., Медведев И.М., Кутырев А.Е., Житнюк С.В. Исследование электрохимических ненаполненных анодно-оксидных покрытий на алюминиевых сплавах марок 1163, В-1461 и В96Ц3п.ч. при ускоренных испытаниях // Труды ВИАМ. 2019. № 6 (78). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.05.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-6-51-64.
11. Бутушин С.В., Семин А.В. Обработка и анализ данных условий эксплуатационной нагруженности самолетов Ту-154 // Сборник научных трудов ГосНИИ ГА. 2010. № 311. С. 91–97.
12. Лебедева И.А., Харламов В.А. Особенности летной эксплуатации системы управления стабилизатором в совмещенном режиме работы на самолете Ту-154М // Научный вестник МГТУ ГА. 2006. № 103. С. 75–81.
13. Юрин С.П., Громов М.С., Уваев С.Ф., Лисин О.В. Оценка состояния и достаточности ресурса парка двигателей типа АИ-24 для самолетов типа Ан-24 и Ан-26 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 31. С. 20–29.
14. Арепьев К.А., Поваров О.Ю., Попов Д.П., Дубинский В.С. Обобщение результатов выполнения работ по исследованию агрегатов системы штурвального управления и системы управления механизацией крыла самолета Ан-124-100 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 29. С. 22–35.
15. Карнаух Г.Е., Арустамова И.С. Ан-124 – вершина конструкторской мысли О.К. Антонова // X Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвящ. 59-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос (8–9 апреля 2020 г.): сб. науч. статей. Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2020. С. 143–146.
16. Поваров О.Ю., Арепьев К.А., Попов Д.П. Коррозионное состояние самолетов Ан-28 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 35. С. 39–49.
17. Жуков А.В. Анализ некоторых авиационных событий, связанных с эксплуатацией самолетов Ан-2 и Як-18 // Научный вестник УИ ГА. 2017. № 9. С. 28–37.
18. Громов М.С., Низев В.Я., Костенко А.В., Смирнов А.В., Степанов В.Н. Влияние пакета ремонтных накладок на напряженное состояние панели крыла пассажирского самолета // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 36. С. 110–117.
19. Арепьев К.А., Ковалевский С.А., Симонов Т.Н. Обзор условий эксплуатации парка самолетов типа Ан-24 в Российской Федерации в 2017–2018 гг. // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 28. С. 40–49.

20. Масленникова Г.Е., Арепьев К.А., Тажетдинов Р.Р., Никонов В.В., Спрысков В.Б. Исследование причин изменения характеристик набора высоты самолетов Ил-96-300 // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2019. № 1. С. 140–144.
21. Куликов В.В., Шарова И.А., Петрова А.П. Ремонт сотовых металлических конструкций в самолетах Ил // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 12. С. 15–18.
22. Масленникова Г.Е., Круглякова О.В. Самолет Ил-76ТД-90ВД – новая жизнь старого планера // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2014. № 4 (315). С. 22–28.
23. Демченко О.Ф. 80 лет ОКБ имени А.С. Яковлева // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2007. № 5. С. 11–17.
24. Павлов Н.В. Вертолет Ми-2 – летающая лаборатория США // Авиационные системы. 2016. № 8. С. 53–55.
25. Урнышев Д.С., Никушкин Н.В. Анализ коррозионных повреждений силовой конструкции планера вертолетов типа Ми-8Т // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2010. № 6. С. 242–243.
26. Аниховская Л.И., Колобова З.Н., Углова Г.Н. Материалы для ремонта лопастей вертолетов типа Ми-8 и Ми-24 в условиях эксплуатации // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 12. С. 32–33.
27. Осипов Д.Н., Шапкин В.С. Измерение скорости развития усталостных трещин в стрингерах из материала 01420 вертолета Ми-26Т // Научный вестник МГТУ ГА. 2010. № 153. С. 77–82.
28. Дмитриева Ю.А. Николай Ильич Камов и его вертолеты // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. № 4 (14). С. 553–554.
29. Александров Н. Перехватчик Сухой. 50 лет в строю // Двигатель. 2008. № 5 (59). С. 26–31.
30. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
31. Каримова С.А., Павловская Т.Г., Чесноков Д.В., Семенова Л.В. Коррозионная активность углепластиков и защита металлических силовых конструкций в контакте с углепластиком // Российский химический журнал. 2010. Т. 54. № 1. С. 110–116.
32. Луценко А.Н., Славин А.В., Ерасов В.С., Хвацкий К.К. Прочностные испытания и исследования авиационных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 527–546. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-527-546.
33. Каблов Е.Н. Маркетинг материаловедения, авиастроения и промышленности: настоящее и будущее // Директор по маркетингу и сбыту. 2017. № 5–6. С. 40–44.

References

1. Antipov V.V., Kurs M.G., Girsh R.I., Serebrennikova N.Yu. Climatic field tests of SIAL type metal-polymer composition materials in marine climate. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 56–64. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-56-64.
2. Kablov E.N. Formation of domestic space materials science. *Vestnik RFFI*, 2017, no. 3, pp. 97–105.
3. Kablov E.N. The role of fundamental research in the creation of new generation materials. *Abstracts of the XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 6 vol. St. Petersburg, 2019, vol. 4, pp. 24.
4. Suchalkin E.A. Aviation of the Russian Navy – 100 years. *Vozdushno-kosmicheskiye sily. Teoriya i praktika*, 2017, no.1 (1), pp. 372–382.
5. Gaidarev R.V., Obertyaeva I.A. The legendary aircraft of the Great Patriotic War – Il-2. *Molodezhnyy innovatsionnyy vestnik*, 2020, no. 53, pp. 20–22.
6. Mukhin M.Yu. From the history of the military-industrial complex of the prewar and war years: organization of work in the field of jet aircraft construction in the USSR in the 1930s – mid-1940s. *Trudy Instituta rossiyskoy istorii RAN*, 2017, no. 14, pp. 72–96.
7. Dugin G.S., Manuilov S.A. Aircraft icing. Conditions for the occurrence and types of icing. *Problemy bezopasnosti poletov*, 2021, no. 1, pp. 27–40.
8. Timoshkov P.N., Goncharov V.A., Usacheva M.N., Khrulkov A.V. Features of technology and polymer composite materials for the manufacture of wings of advanced aircraft (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 1 (107), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 15, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-66-75.

9. Kutyrav A.E., Chesnokov D.V., Antipov V.V., Vdovin A.I. A study of the use of combined anodic dissolution of aluminum alloys with not high sensibility to IGC evidence from alloy of Al–Li–Cu system with the purpose of predicting loss of mechanical properties at atmospheric corrosion. *Trudy VIAM*, 2021, no. 2 (96), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 15, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-2-109-118.
10. Antipov V.V., Medvedev I.M., Kutyrav A.E., Zhitnyuk S.V. The investigation of electro-chemical properties of non-sealed oxide coatings on 1163, V-1461, V96C3pch aluminum alloys during accelerated testing. *Trudy VIAM*, 2019, no. 6 (78), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 15, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-6-51-64.
11. Butushin S.V., Semin A.V. Processing and analysis of data on the operating conditions of the loading of Tu-154 aircraft. *Sbornik nauchnykh trudov GosNII GA*, 2010, no. 311, pp. 91–97.
12. Lebedeva I.A., Kharlamov V.A. Features of flight operation of the stabilizer control system in the combined mode of operation on the Tu-154M aircraft. *Nauchnyy vestnik MGTU GA*, 2006, no. 103, pp. 75–81.
13. Yurin S.P., Gromov M.S., Uvaev S.F., Lisin O.V. Assessment of the state and adequacy of the resource of the fleet of AI-24 engines for An-24 and An-26 aircraft. *Nauchnyy vestnik GosNII GA*, 2020, no. 31, pp. 20–29.
14. Arep'ev K.A., Povarov O.Yu., Popov D.P., Dubinsky V.S. Generalization of the results of the work on the study of the units of the steering control system and the wing mechanization control system of the An-124-100 aircraft. *Nauchnyy vestnik GosNII GA*, 2019, no. 29, pp. 22–35.
15. Karnaukh G.E., Arustamova I.S. An-124 is the pinnacle of O.K. Antonova. *X International. sci.-pract. conf. young scientists dedicated to 59th anniversary of Yu.A. Gagarin into space* (April 8–9, 2020): Sat. scientific articles. Krasnodar: Publishing House - South, 2020, pp. 143–146.
16. Povarov O.Yu., Arepiev K.A., Popov D.P. Corrosion state of An-28 aircraft. *Nauchnyy vestnik GosNII GA*, 2021, no. 35, pp. 39–49.
17. Zhukov A.V. Analysis of some aviation events related to the operation of the An-2 and Yak-18 aircraft. *Nauchnyy vestnik UI GA*, 2017, no. 9, pp. 28–37.
18. Gromov M.S., Nizev V.Ya., Kostenko A.V., Smirnov A.V., Stepanov V.N. Influence of a package of repair pads on the stress state of a passenger aircraft wing panel. *Nauchnyy vestnik GosNII GA*, no. 36, pp. 110–117.
19. Arep'ev K.A., Kovalevsky S.A., Simonov T.N. Review of operating conditions for the An-24 aircraft fleet in the Russian Federation in 2017–2018. *Nauchnyy vestnik GosNII GA*, 2019, no. 28, pp. 40–49.
20. Maslennikova G.E., Arep'ev K.A., Tazhetdinov R.R., Nikonov V.V., Spryskov V.B. Investigation of the reasons for the change in the characteristics of the climb of the Il-96-300 aircraft. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Aviatsionnaya tekhnika*, 2019, no. 1, pp. 140–144.
21. Kulikov V.V., Sharova I.A., Petrova A.P. Repair of honeycomb metal structures in Il aircraft. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2016, no. 12, pp. 15–18.
22. Maslennikova G.E., Kruglyakova O.V. Aircraft Il-76TD-90VD – new life of the old airframe. *Nauchnyy vestnik GosNII GA*, 2014, no. 4 (315), pp. 22–28.
23. Demchenko O.F. 80 years of OKB named after A.S. Yakovleva. *Polet. Obshcherossiyskiy nauchno-tekhnicheskii zhurnal*, 2007, no. 5, pp. 11–17.
24. Pavlov N.V. Mi-2 helicopter – US flying laboratory. *Aviatsionnyye sistemy*, 2016, no. 8, pp. 53–55.
25. Urnyshv D.S., Nikushkin N.V. Analysis of corrosion damage of the power structure of the airframe of Mi-8T type helicopters. *Aktualnyye problemy aviatsii i kosmonavtiki*, 2010, no. 6, pp. 242–243.
26. Anikhovskaya L.I., Kolobova Z.N., Uglova G.N. Materials for the repair of blades of Mi-8 and Mi-24 helicopters under operating conditions. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2005, no. 12, pp. 32–33.
27. Osipov D.N., Shapkin V.S. Measurement of the rate of development of fatigue cracks in stringers made of material 01420 of the Mi-26T helicopter. *Nauchnyy vestnik MGTU GA*, 2010, no. 153, pp. 77–82.

28. Dmitrieva Yu.A. Nikolay Ilyich Kamov and his helicopters. *Aktualnyye problemy aviatsii i kosmonavtiki*, 2018, no. 4 (14), pp. 553–554.
29. Aleksandrov N. Sukhoi interceptor. 50 years in service. *Dvigatel*, 2008, no. 5(59), pp. 26–31.
30. Pavlyuk B.Ph. The main directions in the field of development of polymeric functional materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
31. Karimova S.A., Pavlovskaya T.G., Chesnokov D.V., Semenova L.V. Corrosive activity of CFRPs and protection of metal load-bearing structures in contact with CFRP. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, vol. 54, no. 1, pp. 110–116.
32. Lutsenko A.N., Slavin A.V., Erasov V.S., Khvatskiy K.K. Strength tests and researches of aviation materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 527–546.
33. Kablov E.N. Marketing of Materials Science, Aircraft Engineering and Industry: Present and Future. *Direktor po marketingu i sbytu*. 2017, no. 5–6, pp. 40–44.

Информация об авторах

Антипов Владислав Валерьевич, и.о. генерального директора, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Дуюнова Виктория Александровна, начальник научно-исследовательского отделения, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Оглодков Михаил Сергеевич, заместитель начальника научно-исследовательского отделения, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Фомина Марина Александровна, заместитель начальника лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Французова Тамара Петровна, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Козлов Илья Андреевич, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Vladislav V. Antipov, Acting Director General, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Victoria A. Duyunova, Head of Scientific-Research Bureau, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Mikhail S. Oglodkov, Deputy Head of Scientific-Research Bureau, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Marina A. Fomina, Deputy Head of Laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Tamara P. Frantsuzova, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ilya A. Kozlov, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 03.06.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 06.06.2022.

The article was submitted 03.06.2022; approved and accepted for publication after reviewing 06.06.2022.