

УДК 678.83

А.Ч. Кан¹, Г.Ф. Железина¹, Н.А. Соловьева¹**АРАМИДНЫЕ ОРГАНОПЛАСТИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПТИЦЕСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-1-77-84

Исследована возможность использования защитных экранов из арамидных органо-пластиков для обеспечения птицестойкости углепластиковых закрылков крыла самолета. Подобраны арамидные органопластики для изготовления защитного экрана с учетом основных требований к материалам внешнего контура крыла самолета. Приведены результаты испытаний на удар, имитирующий столкновение птицы с углепластиковыми закрылками, не защищенными и защищенными органопластиковыми экранами. Представлено оптимальное соотношение арамидных органопластиков в составе защитного экрана для углепластиковых закрылков крыла самолета.

Ключевые слова: элементы авиационных конструкций, органопластик, углепластик, защитный экран, механический удар, птицестойкость.

A.Ch. Kan¹, G.F. Zhelezina¹, N.A. Solovieva¹**ARAMID ORGANOPLASTICS FOR INCREASING THE BIRD RESISTANCE OF ELEMENTS OF AIRCRAFT STRUCTURES**

The possibility of using protective screens made of aramid organoplastics to ensure the bird resistance of carbon fiber wing flaps is investigated. Aramid organoplastics were selected for the production of a protective screen, taking into account the main requirements for the materials of external contour of the aircraft wing. The result of impact tests simulating the collision of a bird with carbon fiber flaps that are not protected and protected by organoplastics are presented. The optimal ratio of aramid organoplastics as part of the protective screen for carbon fiber wing flaps is presented.

Keywords: elements of aircraft structures, organoplastic, carbon plastic, protective screen, mechanical shock, bird resistance.

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

Совершенствование авиационных материалов с целью удовлетворения постоянно возрастающих требований к современной авиационной технике – основная цель стратегии развития авиационного материаловедения [1].

Главный критерий качества авиационных материалов – обеспечение безопасности эксплуатации авиационных конструкций [2]. Одним из случайных факторов, представляющих опасность для эксплуатации элементов конструкций, является столкновение с птицами. В последние десятилетия птицы стали рассматриваться как угроза для авиации, так как их столкновения с самолетами приводят к многочисленным летным происшествиям и человеческим жертвам, а с ростом скорости и интенсивности полетов возросло и число таких случаев, представляющих серьезную опасность. Во всем мире из-за столкновений с птицами ежегодно терпят крушение в среднем 1,5 самолета. Вероятность столкновений воздушных судов с птицами – такого же порядка, как и вероятность

встречи с опасными явлениями природы. По данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО), ежегодно случается более 5000 столкновений самолетов и птиц, большая часть из которых происходит при взлете и посадке: ~75% случаев фиксируется на высоте до 300 м, ~20% – на высоте 300–1500 м и ~5% – на высоте >1500 м. Самыми уязвимыми частями самолетов являются двигатели (с их повреждениями связано от 40 до 60% предпосылок к авиационным происшествиям), кабина, планер, элементы механизации и т. д. [3–6].

Попадание птицы в двигатель чревато серьезными повреждениями, возможно разрушение лопаток вентилятора. В этом случае для обеспечения безопасности полета необходимо локализовать зону разрушения в пределах корпуса вентилятора, не допустив пробития корпуса осколками лопаток и повреждения жизненно важных систем самолета. Для обеспечения непробиваемости корпуса вентилятора осколками разрушенных лопаток применяются арамидные органопластики, из которых изготавливают защитное «удерживающее устройство», входящее в состав конструкции корпуса [7–11].

Эффективность применения органопластиков в конструкциях, предназначенных для защиты от высокоскоростного и высокоэнергетического удара, обусловлена особенностями текстильной структуры армирующего наполнителя и характером его взаимодействия со связующим [12–14].

Перегородка кабины экипажа пассажирского самолета Sukhoi Superjet 100 изготовлена из ударостойкого органопластика и обеспечивает защиту экипажа в случае возникновения нештатной ситуации (терроризм, угон) [15]. В конструкции корпуса вентилятора газотурбинных авиационных двигателей нашел применение конструкционный органопластик марки Органит 6НТ, позволяющий удерживать разрушившиеся лопатки вентилятора при попадании в двигатель птиц или инородных тел, а также обеспечивающий надежную защиту планера и систем жизнеобеспечения летательного аппарата.

Столкновение птиц с закрылками при взлете или посадке самолета приводит к разрушению обшивки из углепластика и возникновению аварийной ситуации, затрудняющей посадку самолета. В данном случае нижняя поверхность закрылка повреждается сильнее, чем его верхняя поверхность. Повреждения также могут быть вызваны попаданием в закрылки камней, обломков и мусора, находящихся на взлетно-посадочной полосе [16].

Высокая стойкость конструкционных органопластиков к ударным воздействиям свидетельствует о целесообразности их использования для изготовления защитных экранов и элементов конструкции, обеспечивающих безопасность эксплуатации при столкновении самолетов и вертолетов с птицами.

Проблема защиты от механического удара элементов авиационных конструкций стала особенно актуальной в настоящее время по ряду причин:

- увеличение доли углепластиков в материальном облике летательных аппаратов. Углепластики обеспечивают высокие конструкционную прочность и жесткость элементов конструкции, однако для них характерны хрупкий характер разрушения и склонность к растрескиванию при механическом ударе;
- расширение географических зон эксплуатации авиационной техники и, как следствие, учащение встреч с миграционными потоками, а также увеличение разнообразия птиц и сред их обитания;
- увеличение скорости и маневренности самолетов, в свою очередь повышающих вероятность и энергию соударения с птицами.

В данной работе исследована возможность использования защитных экранов из органопластиков для обеспечения птицестойкости углепластиковых закрылков крыла самолета. Приведены результаты испытаний на удар, имитирующий столкновение птицы с закрылками из углепластика, не защищенными и защищенными органопластиками.

Материалы и методы

Для изготовления экранов, предназначенных для защиты закрылка самолета от механического удара при столкновении с птицами, использованы арамидные органопластики марок ВКО-20 и ВКО-19Л. Органопластик марки ВКО-20 – ударостойкий материал специальной структуры на основе ткани из арамидных волокон Руслан и фенолкаучукового связующего марки ВК-3. Органопластик марки ВКО-19Л – листовая конструкционный материал на основе ткани из арамидных волокон Руслан и пленочного эпоксилаучукового связующего марки ВК-36РТ. Свойства органопластиков марок ВКО-20 и ВКО-19Л представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства органопластиков марок ВКО-20 и ВКО-19Л

Свойства	Значения свойств органопластика марки	
	ВКО-20	ВКО-19Л
Плотность, кг/м ³	1020–1100	1320–1360
Предел прочности при растяжении, МПа	676	756
Прочность при отслаивании, кН/м	1,50	0,84

Листы из органопластика марок ВКО-19Л и ВКО-20 изготавливали методом автоклавного формования при повышенной температуре и давлении в соответствии с температурно-временными параметрами отверждения связующих. Перед автоклавным формованием органопластика ВКО-19Л проводили сборку пакетов из слоев арамидной ткани и пленочного связующего марки ВК-36РТ. В качестве полуфабриката органопластика ВКО-20 использовали препрег, изготовленный на пропиточной установке Coatema путем совмещения арамидной ткани и клеевой пленки ВК-3.

Для адгезионного соединения листов из органопластика марок ВКО-19Л и ВКО-20 между собой и приклейки защитного экрана к поверхности закрылка выбраны клеи марок ВК-25 и ВК-27, свойства которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства клеев марок ВК-27 и ВК-25

Свойства	Значения свойств клея марки				
	ВК-27		ВК-25		
	Норма по ТУ1-595-14-692–2008	Полученные показатели	Норма по ОСТ1 90281–86	Полученные показатели	
Внешний вид	Однородная пастообразная масса без посторонних примесей и включений		Вязкая однородная жидкость от зеленовато-коричневого до синего цвета	Вязкая однородная жидкость зеленовато-коричневого цвета	
Жизнеспособность при температуре 22 °С, ч	≥4	4,5	6–24	7	
Прочность при сдвиге клеевых соединений, МПа, при температуре, °С:	20	≥22,5	28,8	≥22,5	34,6
	80	≥8,3	10,8	≥11,7	20,2

Для проведения испытаний на стойкость к механическому удару, имитирующему столкновение с птицей, и оценки эффективности защитных экранов из арамидных органопластиков использовали конструктивно-подобные образцы закрылка. Образцы представляют собой трехслойные сотовые панели типовой конструкции размером

800×800 мм и высотой 40 мм с двумя обшивками из углепластика (на основе углеродной ленты марки ЭЛУР-0,08ПА и связующего марки ЭНФБ), а также с сотовым наполнителем из фольги АМг2Н 0,03 с размером ячейки 2,5 мм. Испытаниям на стойкость к механическому удару (падение груза массой 9 кг с высоты 30 м) подвергали конструктивно-подобные образцы закрылка самолета в исходном состоянии и при наличии на них защитных экранов из органопластика.

Результаты и обсуждение

Выбор органопластиков, которые целесообразно использовать для изготовления ударозащитных экранов для закрывков самолета, проводили с учетом основных требований, предъявляемых к материалам внешнего контура самолета (стойкость к воздействию климатических факторов, температура эксплуатации), а также особенностей различных марок арамидных органопластиков, отличающихся физико-механическими свойствами, стойкостью к поглощению влаги, жесткостью и ударостойкостью [17–20].

Для изготовления защитных экранов выбрали две марки арамидных органопластиков, которые в данной конструкции необходимо сочетать друг с другом:

– ВКО-20 – для внутреннего слоя, обеспечивающего стойкость к механическому удару;

– ВКО-19Л – для наружного слоя, обеспечивающего защиту от воздействия факторов внешней среды.

Склеивку листов из органопластика марок ВКО-20 и ВКО-19Л между собой проводили клеями холодного отверждения одновременно с приклейкой к поверхности конструктивно-подобного образца закрылка крыла самолета. Такая технология в перспективе может быть использована при установке защитных экранов в полевых условиях. Для улучшения адгезии между листами органопластика проводили склейку клеем марки ВК-27 по подслою клея марки ВК-25, который наносили на шероховатую поверхность листов органопластика марки ВКО-19Л.

В составе защитных экранов, предназначенных для проведения ударных испытаний, толщину ударостойкого органопластика марки ВКО-20 варьировали от 1,5 до 0,9 мм. Толщина листов органопластика марки ВКО-19Л составляла 0,47 мм.

Испытания конструктивно-подобных образцов закрылка с защитными экранами из органопластиков проводили в условиях авиационного предприятия. Удар от столкновения с птицей имитировали ударом груза массой 9 кг (мешок с мокрым песком), сброшенного с высоты 30 м на конструктивно-подобный образец закрылка, закрепленный на опоре, показанной на рис. 1.



Рис. 1. Опора для закрепления образца

Ударным испытаниям подвергали конструктивно-подобные образцы закрылка с защитными экранами следующих типов:

– образец 1 (контрольный) – конструктивно-подобный образец закрылка без защитного экрана;

– образец 2 – конструктивно-подобный образец закрылка с наклеенным на фронтальную поверхность (со стороны удара) защитным экраном из органопластиков марок ВКО-19Л и ВКО-20 толщиной 1,5 мм;

– образец 3 – конструктивно-подобный образец закрылка с наклеенными на фронтальную и тыльную поверхности защитными экранами из органопластиков марок ВКО-19Л и ВКО-20 толщиной 1,2 мм;

– образец 4 – конструктивно-подобный образец закрылка с наклеенными на фронтальную и тыльную поверхности защитными экранами из органопластиков марок ВКО-19Л и ВКО-20 толщиной 0,9 мм.

Результаты испытаний конструктивно-подобных образцов закрылка на удар и эффективность использования органопластиков для их защиты оценивали по анализу внешнего вида разрушенных образцов и характеру повреждений.

На рис. 2 показан вид разрушения после ударного воздействия на конструктивно-подобный образец закрылка, не защищенный органопластиком. В результате ударного воздействия произошло разрушение верхней обшивки из углепластика трехслойной сотовой панели. Под разрушенной обшивкой из углепластика наблюдается смятие металлических сот. Целостность нижней обшивки углепластика не нарушена. В месте удара на нижней обшивке сотовой панели видна зона сильно деформированного углепластика – «отдулина» – размером 250–300 мм, по торцу образца наблюдается отслоение обшивки.



Рис. 2. Вид конструктивно-подобного образца закрылка, не защищенного органопластиком, после ударного воздействия

На рис. 3, а показан вид разрушения после ударного воздействия на конструктивно-подобный образец закрылка, защищенный с фронтальной стороны органопластиком марки ВКО-20 толщиной 1,5 мм. Видно, что защитный экран из органопластика не разрушен, линия сброса напряжений в виде складки направлена к границам защитного экрана, в зоне удара визуальных расслоений нет, сотовый наполнитель частично смят, на нижней обшивке из углепластика в месте удара наблюдаются трещины.

На рис. 3, б показан внешний вид после ударного воздействия на конструктивно-подобный образец закрылка, защищенный с фронтальной и тыльной сторон органопластиком марки ВКО-20 толщиной 1,2 мм. Видно, что верхний лист органопластика

не разрушен, линия сброса напряжений в виде складки направлена к границам защитного экрана (меньше, чем у образца 2), расслоений в зоне удара не наблюдается, соты частично смяты, на тыльной стороне закрылка разрушений нет.

На рис. 3, в видно, что у конструктивно-подобного образца закрылка, защищенного с двух сторон органопластиком марки ВКО-20 толщиной 0,9 мм, разрушения фронтального экрана из органопластика не наблюдается, линия сброса напряжений в виде складки отсутствует, в зоне удара визуальных расслоений нет, соты смяты незначительно, на тыльной стороне в зоне удара разрушений нет, присутствует небольшая отдулина.



Рис. 3. Вид конструктивно-подобного образца закрылка, защищенного с фронтальной стороны (а) и с двух сторон (б, в) органопластиком марки ВКО-20 толщиной 1,5 (а); 1,2 (б) и 0,9 мм (в), после ударного воздействия

Проведенные испытания показали эффективность использования защитных экранов из органопластиков марок ВКО-19Л и ВКО-20 для обеспечения целостности конструктивно-подобных образцов закрылка самолета при ударе, имитирующем столкновение с птицей. Помимо ударостойкого органопластика марки ВКО-20 в состав конструкции экрана необходимо включить тонкий (0,47 мм) герметичный органопластик марки ВКО-19Л для защиты от воды, атмосферной влаги и других климатических факторов, поскольку органопластик марки ВКО-20 не обладает достаточной стойкостью к поглощению влаги.

По результатам проведенных исследований предложена структура защитных экранов из органопластиков для защиты от механического удара (столкновение с птицами) закрывков самолета. Защитные экраны должны располагаться с обеих сторон закрылка, каждый экран должен состоять из двух органопластиков: органопластика марки ВКО-20 толщиной 0,9 мм, обеспечивающего защиту от удара, и герметичного конструкционного органопластика марки ВКО-19Л толщиной 0,47 мм, обеспечивающего защиту от влияния влаги и других природно-климатических факторов.

Заключения

В современных условиях ввиду расширения географического охвата полетов, а также увеличения скорости и маневренности авиационной техники повышается вероятность столкновения с птицами. Принимая во внимание, что арамидные органопластики имеют предельно высокие характеристики ударной стойкости, предложено использовать эти материалы для изготовления защитных экранов, обеспечивающих «птицестойкость» элементов авиационных конструкций, в частности закрывков самолета с обшивками из углепластика.

Выбрана оптимальная структура защитного экрана, включающая ударостойкий органопластик марки ВКО-20 толщиной 0,9 мм и конструкционный герметичный органопластик марки ВКО-19Л. Предложено размещать экраны по обе стороны закрылка (на фронтальной и тыльной сторонах).

По результатам испытаний конструктивно-подобных образцов закрылка самолета подтверждена эффективность использования защитных экранов из органопластиков марок ВКО-19Л и ВКО-20 для обеспечения стойкости элементов конструкций к механическому удару – падающему грузу массой 9 кг с высоты 30 м, имитирующему столкновение с птицей большой массы, свойственной популяции птиц акватории Индийского океана.

Проведенные исследования показали, что перспективным направлением для решения проблемы безопасности полетов при столкновении с птицами является использование арамидных органопластиков для изготовления элементов авиационных конструкций, находящихся в зоне потенциального столкновения, а также использование защитных экранов или гибридных конструкций, в которых органопластики сочетаются с полимерными композиционными материалами, армированными стеклянными и углеродными волокнами [20].

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. №2 (14). С. 16–21.
3. Фритш О. Безопасность полетов – задача №1 // Курьер ЮНЕСКО. 1978. №4. С. 20–22.
4. Онгирский Г.Г., Шупиков А.Н., Угримов С.В. Влияние кинематических факторов на реакцию деформируемой преграды при столкновении с птицей // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. 2008. №5. С. 54–62.
5. Онгирский Г.Г., Шупиков А.Н., Угримов С.В. Исследование реакции деформируемой преграды на удар птицей и имитатором // Труды ЦАГИ. 2009. Вып. 2683. С. 89–95.
6. Руководство по системе информации ИКАО о столкновениях с птицами (IBIS). URL: http://aerohelp.ru/sysfiles/374_195.pdf (дата обращения: 09.11.2020).
7. Куртеев В.А., Мозеров Б.Г., Соколовский М.И., Иноземцев А.А. Оценка защитной способности корпуса вентилятора турбореактивного двигателя // Вестник Пермского национального исследовательского университета. Аэродинамическая техника. 2015. №40. С. 22–43.
8. Куртеев В.А. Экспериментальное моделирование ударного взаимодействия оторвавшейся лопадки с корпусом вентилятора турбореактивного двигателя // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэродинамическая техника. 2018. №52. С. 97–116.
9. Крундаева А.Н. Разработка облегченной конструкции корпуса вентилятора авиационного двигателя // Вестник УГАТУ. Сер.: Авиационная и космическая техника. 2013. Т. 17. №1 (54). С. 27–32.
10. Иноземцев А.А., Коняев Е.А., Медведев В.В., Нерадько А.В., Ряссов А.Е. Авиационный двигатель ПС-90А: учеб. пособие. М.: Физматлит, 2007. 320 с.
11. Кузьмин М.В., Кирсанов А.Р. Расчетная оценка повреждаемости газотурбинного двигателя при попадании на вход птиц // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. №212. С. 127–132.
12. Железина Г.Ф., Войнов С.И., Каринбаев Т.Д., Чернышов А.А. Арамидные органопластики для корпусов вентиляторов авиационных двигателей // Вопросы материаловедения. 2017. №32 (90). С. 153–165.
13. Шульдецова П.М., Железина Г.Ф. Арамидный слоисто-тканый материал для защиты от баллистических и ударных воздействий // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2014. №9. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 26.10.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-6-6.
14. Железина Г.Ф., Войнов С.И., Соловьева Н.А., Кулагина Г.С. Арамидные органотекстолиты для ударостойких авиационных конструкций // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92. Вып. 3. С. 358–364. DOI: 10.1134/S0044461819030101.

15. Железина Г.Ф., Гуляев И.Н., Соловьева Н.А. Арамидные органопластики нового поколения для авиационных конструкций // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 368–378. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-368-378.
16. Дубинский С.В., Фейгенбаум Ю.М., Селихов А.А., Гвоздев С.А., Ордынцев В.М. Закономерности реализации случайных ударных воздействий на конструкцию крыла коммерческого самолета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. №4 (3). С. 604–611.
17. Каблов Е.Н., Старцев О.В. Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. №4 (37). С. 38–52. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52.
18. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. №2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
19. Каблов Е.Н., Старцев В.О., Иноземцев А.А. Влагонасыщение конструктивно-подобных элементов из полимерных композиционных материалов в открытых климатических условиях с наложением термоциклов // Авиационные материалы и технологии. 2017. №2 (47). С. 56–68. DOI: 10.18577-2071-9140-2017-0-2-56-68.
20. Железина Г.Ф., Бова В.Г., Войнов С.И., Кан А.Ч. Перспективы использования гибридных тканей на основе углеродных и арамидных волокон в качестве армирующего наполнителя полимерных композиционных материалов // Вопросы материаловедения. 2019. №2 (98). С. 86–95. DOI: 10.22349/1994-67-2019-98-2-86-95.