Разработка высокопрочных облегченных композиций авиационного остекления на основе монолитного поликарбоната и технологии их производства.

В результате проделанной коллективом Государственного научного центра Российской Федерации «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» работы по созданию авиационного остекления нового поколения получены следующие результаты:

1. Разработаны основы создания высокопрочного облегченного остекления на основе поликарбоната для авиационной техники и технологии формования сложнопрофильных (3D), крупногабаритных изделий из полимерных стекол.

Впервые в стране разработаны и реализованы композиции авиационного остекления на основе монолитного поликарбоната, превосходящие зарубежные аналоги и обеспечивающие:

- увеличение динамической прочности остекления в 1,5 – 2 раза;
- снижение массы птицестойкого остекления в 2,0 раза;
- отсутствие осколков при динамическом ударе;
- увеличение скорости отстрела фонаря в случае внештатной ситуации на 20%.

2. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана промышленная технология механовакуумного формования сложнопрофильных (3D), крупногабаритных изделий из листовых полимерных стекол, превосходящая по своей эффективности зарубежные аналоги технологий литья под давлением.

3. Создана научно-производственная база в составе уникального исследовательского, контрольно-измерительного и испытательного оборудования, приборов и стендов (промышленный цех для серийного производства изделий авиационного остекления из полимерных материалов, уникальная установка для формования сложнопрофильных изделий, пятикоординатный центр для механической обработки, полигон для динамических испытаний изделий, стенд оптического контроля, современные оптико-измерительные приборы и др.).

4. Изделия остекления, полученные по разработанной технологии, успешно прошли весь необходимый цикл испытаний и используются на самолете пятого поколения Су-57. Ведутся работы по созданию остекления на основе монолитного поликарбоната для самолетов Су-35/Су-35С, Су-34.

5. Результаты исследований и разработок изделий, технологий, методик контроля и испытаний, а также разработанные оборудование и технологическая оснастка в полном объеме реализованы в серийном производстве АО «ОНПП «Технология» им.А.Г.Ромашина.

6. Технология получения высокопрочных композиций остекления нашла также применение в качестве антивандального остекления автобусных остановок, скоростных морских судов, комнат предварительного задержания. В перспективе планируется ее использование при производстве остекления

высокоскоростных локомотивов железнодорожного транспорта, защитных ограждений на стадионах.

7. Научная ценность, оригинальность и новизна технических решений данной работы подтверждается семью патентами.

8. Разработка отмечена премией Правительства РФ в области науки и техники за 2018 год.

Работа носила комплексный характер и в ней активное участие принимали ПАО «Компания «Сухой», ФГУП «ВИАМ», АО «НИИ Пластмасс».

Разработка композиций высокопрочного облегченного авиационного остекления на основе монолитного поликарбоната.

Ежегодные разрушения остекления кабины летчика при соударениях с птицей приводят к катастрофическим последствиям, зачастую сопровождающимся гибелью экипажа, пассажиров и машины

Появление в международных и отечественных стандартах требования обеспечения безопасности экипажей самолетов и вертолетов при столкновении с птицами в полете в сочетании с задачами обеспечения высоких оптических свойств и минимизации весовых характеристик авиационного остекления требует разработки нового класса изделий конструкционной оптики (ИКО) - легкого птицестойкого остекления.

Используемые в настоящее время композиции авиационного остекления выполняются в основном из двух типов материалов - силикатное стекло и полиметилметакрилат (органическое стекло). Однако их использование для остекления современных сверхзвуковых летательных аппаратов достигло своего технического предела и становится проблематичным в основном из-за низких прочностных характеристик данных материалов.

Например, для получения высокопрочной композиции остекления из силикатного стекла ее выполняют путем склеивания нескольких слоев стекла предварительно упрочненных путем длительной выдержки в расплаве калиевой селитры или путем химического травления в смеси серной и плавиковой кислот. Композиции получаются весьма тяжелыми и дорогостоящими, что крайне нежелательно для летательных аппаратов, а технологии экологически грязными, требующими создания специального оборудования и технологий для нейтрализации кислот и утилизации отходов.

Для повышения прочности органического стекла проводят операцию его ориентирования (нагрев и растягивание листа). Кроме того, температурный предел использования органического стекла ограничивается его температурой размягчения 110-120ºС.

Целью представленной на конкурс работы являлось создание принципиально новых высокопрочных композиций птицестойкого остекления кабин самолетов и вертолетов с низкими удельными весовыми характеристиками, обеспечивающих более безопасные и комфортные условия

летного состава, повышение тактико-технических характеристик боевой авиации и конкурентоспособности на мировом рынке.

Выбор материалов для композиций авиационного остекления

Первоначально остекление кабины самолета Су-57 было выполнено из силикатного стекла. Передняя часть фонаря (ПЧФ) конструктивно представляла собой пентаплекс, то есть три силикатных упрочненных стекла склеенных между собой полиуретановой пленкой. Толщина композиции составляла 18 мм. Сдвижная часть фонаря (СдЧФ) была выполнена в виде триплекса толщиной 16 мм.

В процессе испытаний изделий, в том числе и летных, выявились недостатки данного типа остекления. Изделия имели достаточно большой вес 45 кг и 58 кг соответственно. Процесс изготовления изделий был весьма сложным, трудоемким с использованием экологически грязных технологий, с низким коэффициентом выхода годной продукции, что определяло высокую стоимость изделий.

ПАО «Компания «Сухой» предложила разработать альтернативный вариант остекления кабины пилота на основе монолитного поликарбоната. Первоначально необходимо было отработать конструктивные элементы наиболее сложной по геометрии (3D конфигурация) сдвижной части фонаря.

Существующая конструкция сдвижной части фонаряпредусматривала посадочное место для силикатного стекла толщиной 16мм. В тоже время, прикидочные прочностные расчеты показывали, что такая толщина для монолитного поликарбоната избыточна. Оптимальная толщина изделия могла составлять 12 мм. Результаты испытания показали, что изделие из поликарбоната данной толщины выдержало нагрузку равную 0,980 кгс/см^{2,} что составляет 102,6 % от расчетной.

Передняя часть фонаря является наиболее ответственной частью остекления кабины самолета, воспринимающая на себя основные аэродинамические и тепловые нагрузки, следовательно, его толщина и композиция, обеспечивающие необходимую прочность, являются определяющими параметрами. Существующая конструкция фонаря предусматривала посадочное место ПЧФ из силикатного стекла толщиной 18мм. Предварительные прочностные расчеты показывали, что такая толщина в случае использования монолитного поликарбоната избыточна. Оптимальная толщина изделия могла составлять 15 мм. Для подтверждения расчетных данных необходимо было провести испытания изделия на птицестойкость. Были изготовлены опытные изделия.

Испытания проводились на стенде соответствии с техническими требованиями: вес птицы составляет (1,8 ± 0,1) кг, скорость соударения 600 км/час, допустимое отклонение скорости ± 8 %. Фактическая скорость после первого выстрела составила 645 км/час. Изделие сохранило свою целостность. Далее решено было испытать его же при более высокой скорости соударения с птицей с целью определения уровня возможностей изделия по выдерживанию

динамического удара. Последующий выстрел был произведен при скорости птицы 777 км/час. Изделие также сохранило свою целостность, вмятин или трещин по всей поверхности изделия не наблюдалось.

Рис. Изделие остекления ПЧФ самолета Су-57 из монолитного поликарбоната перед испытаниями на динамическую прочность.

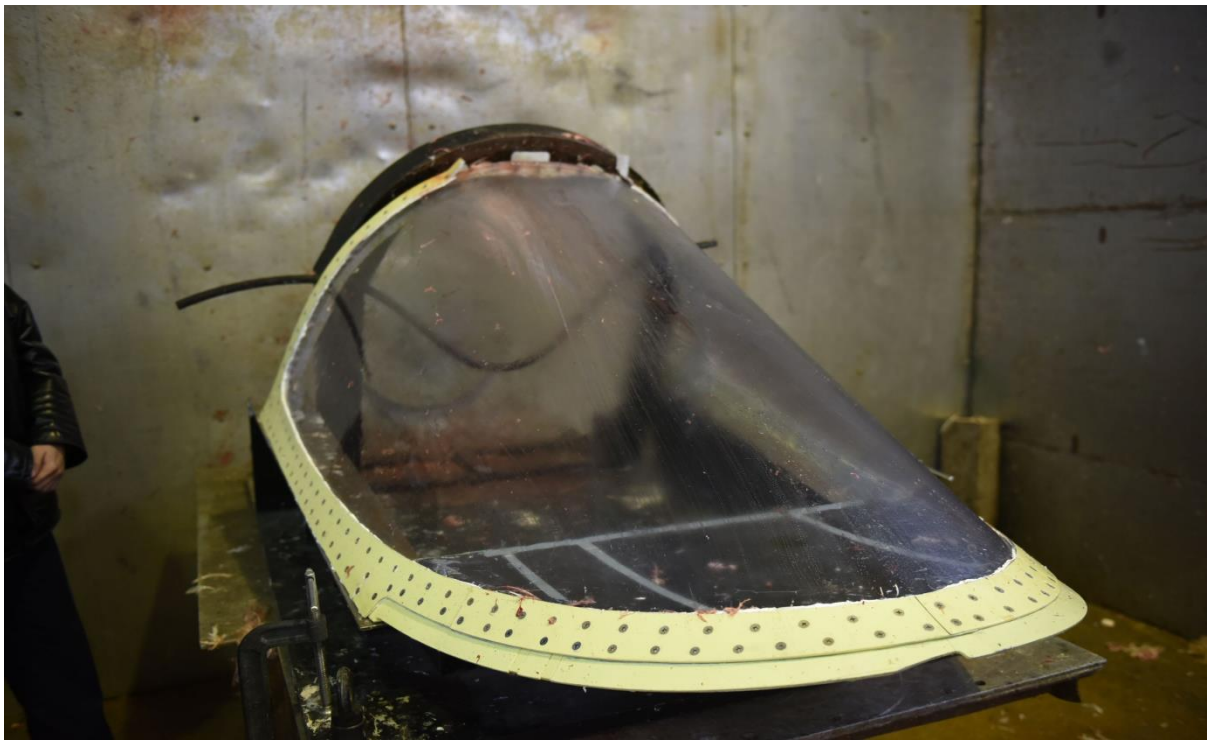

Рис. Изделие остекления ПЧФ самолета Су-57 из монолитного поликарбоната после двукратных испытаний на скоростях птицы 645 и 777 км/час.

Результаты испытаний показали высокую динамическую устойчивость моно композиции, выполненной из монолитного поликарбоната, превышающую в 1,5 раза установленную динамическую прочность (500 км/час) для силикатной композиции, выполненной в виде пентаплекса.

На сверхзвуковых скоростях за счет аэродинамического трения происходит нагревание многих элементов планера, в том числе и остекления кабины пилота. В этом плане вставал вопрос о возможности использования монолитного поликарбоната на передней части фонаря. Необходимо было знать уровень температур, возникающих на поверхности остекления и с его внутренней стороны в условиях сверхзвукового полета.

Результаты расчетов, проведенные ПАО «Компания «Сухой» показали, что в районе носовой части остекления возникает зона возмущения в которой температуры на стекле достигают до 170-180ºС. Эти температуры являются критичными для поликарбоната, так как его температура размягчения составляет 145-150 ºС. Однако, перегрев стекла в этой зоне обусловлен не только аэродинамическим трением, но и передачей тепла из зоны высоких температур корпуса носовой части самолета на стекло. С целью исключения локальных перегревов, было решено заменить материал фонаря в носовой зоне заделки стекла на менее теплопроводный и дополнительно проложить между стеклом и корпусом фонаря теплоизоляционные прокладки.

Разработка технологии формования остекления для самолета Су-57 из монолитного поликарбоната.

Ключевой технологической операцией определяющей качество изделий остекления из полимерных материалов во всем цикле их производства является процесс формования.

Поликарбонат находит все большее применение в авиационной боевой зарубежной технике. Так современный американский самолет F-22 имеет остекление кабины пилота выполненное полностью из поликарбоната полученного по технологии литья под давлением. По пути использования поликарбоната для остекления своего самолета 5-го поколения идут и китайские авиастроители. Так институтом ПИАМ г.Пекин интенсивно ведутся исследования по разработке технологии получения изделий авиационного остекления из поликарбоната методом литья под давлением.

Однако технология получения изделий авиационного остекления методом литья под давлением является весьма сложной, трудоемкой и энергозатратной. Это, в конечном счете, делает ее не эффективной. Например, для получения реального изделия остекления фонаря самолета длинной порядка 2,5 метра в ПИАМе, г.Пекин создается литьевая установка весом 500 тн. При этом, формы

для литья представляют собой сложный разборный замковый механизм с индивидуальной системой теплового регулирования.

Коллективом ОНПП «Технология» была разработана технология механо-вакуумного формования крупногабаритных сложнопрофильных изделий авиационного остекления непосредственно из монолитного листа поликарбоната. Для этих целей была сконструирована и изготовлена специальная опытная установка для формования крупногабаритных сложнопрофильных изделий из полимерных материалов на холодную форму.

На данной установке были получены изделия, соответствующие чертежам не только по геометрическим параметрам, но и по оптическим характеристикам. Они успешно прошли все виды испытаний, предусмотренные программой, и были переданы заказчику.

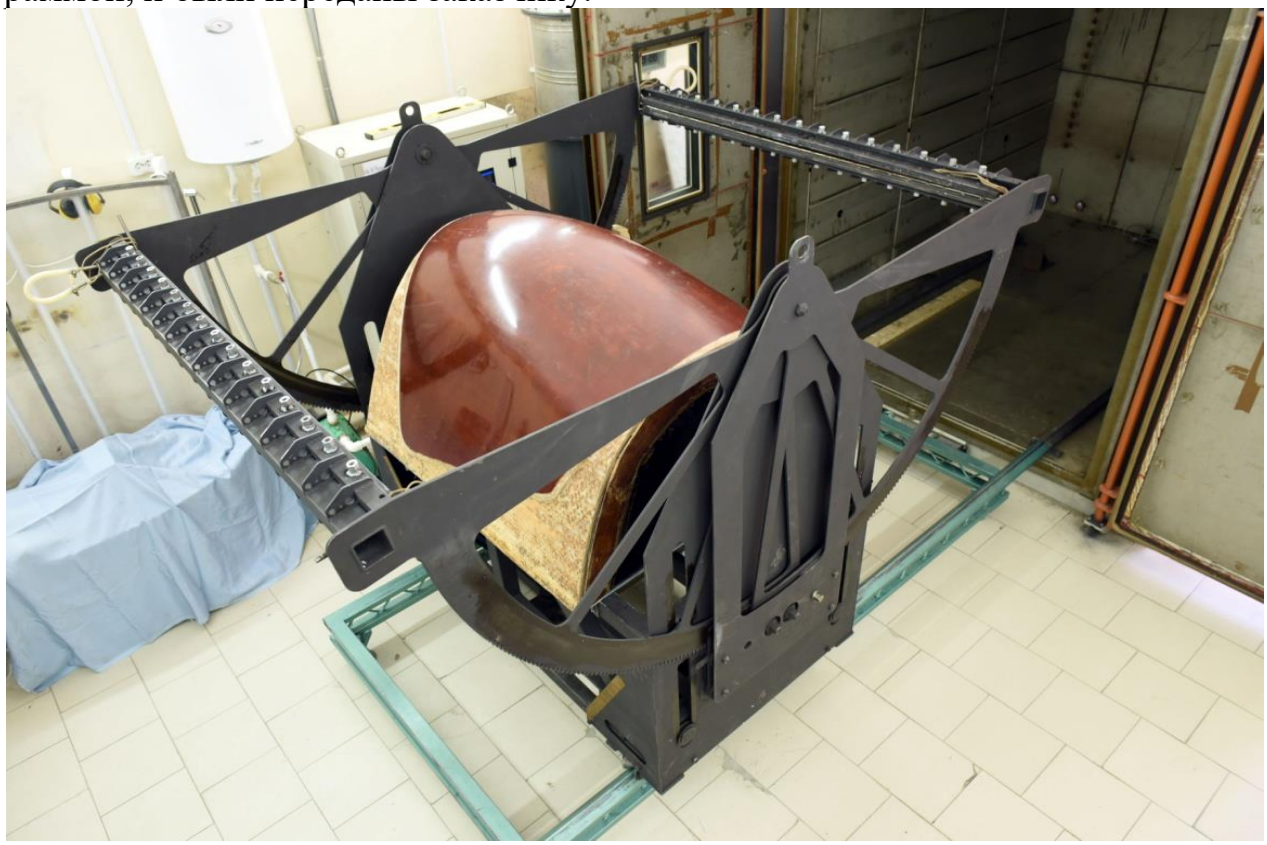

Рис. Опытная установка для формование изделий из полимерных материалов

Испытания, проведенные в АО «ОНПП «Технология» и ПАО «Компания «Сухой», показали явные преимущества остекления на основе монолитного поликарбоната по сравнению с силикатным остеклением, а именно:

- снижение веса остекления в 2 раза;
- повышение динамической прочности (птицестойкости) в 1,5 раза;
- отсутствие осколков при динамическом ударе;
- увеличение скорости отстрела фонаря в случае внештатной ситуации на 20%.

Рис. Изделие остекления сдвижной части фонаря самолета Су-57

Разработка технологии нанесение кремнийорганических защитных покрытий на органическое стекло и поликарбонат

Заключительной технологической операцией являлось нанесение на остекление защитных покрытий. Основной их функцией является защита самих материалов от воздействия внешних факторов (абразив, влага, соляной туман и др.). Кроме того, предварительно на изделия наносились по ранее отработанной технологии металлооптические многофункциональные покрытия на основе сплава оксидов индия и олова, а также золота. Данное покрытие предназначалось для защиты экипажа самолета и его аммуниции от воздействия электромагнитного и ультрафиолетового излучений, тепла солнечной радиации, снижения радиолокационной заметности кабины пилота.

Рис. «Чистое помещение» для подготовки поверхности изделий и нанесения лака

В рамках данной работы была также разработана композиция авиационного остекления с многофункциональным покрытием изделия что существенно снижает радиолокационную заметность.

На технологию нанесения кремнийорганических защитных покрытий на криволинейные органические и поликарбонатные стекла разработана технологическая инструкция с присвоением литеры «О» (ТИ 596.25000.1338) и технологическая инструкция (ТИ 596.25000.1512).

Создание научно-производственной базы для промышленного освоения производства принципиально нового авиационного остекления на основе монолитного поликарбоната.

В связи с намеченными серийными поставками остекления на основе монолитного поликарбоната для остекления самолетов Су-57, а также планируемой работы по остеклению на основе поликарбоната для самолетов Су-35 и Су-24 был создан новый промышленный цех, предназначенный для серийного производства изделий авиационного остекления из полимерных материалов (поликарбоната и полиметилакрилата).

Цех оснащен современным технологическим оборудованием для формования, склеивания, механической обработки и контроля крупногабаритных сложнопрофильных изделий авиационного назначения о котором указывалось выше.

Рис. Цех для серийного производства изделий авиационного остекления из полимерных материалов

Был также модернизирован полигон для динамических испытаний изделий (испытания на птицестойкость).

Использование гетерогенных композиций остекления для других объектов военной и гражданской техники.

Эффективность авиационного остекления на основе поликарбоната, установленная как в процессе предварительных, так и летных испытаний самолета Су-57 вызвала к нему высокий интерес авиастроительных КБ. Так, ПАО «Компания «Сухой» совместно с АО «ОНПП «Технология» начали работу по переостеклению кабины самолета Су-34.

Данный тип остекления привлекателен и для гражданского сектора экономики, в частности для остекления локомотивов высокоскоростных поездов. Так, АО «ОНПП «Технология» и «ПИАМ» г.Пекин ведут в настоящее время работы по созданию высокопрочного остекления для высокоскоростного китайского поезда. Созданы гетерогенные композиции остекления на основе поликарбоната и силикатного стекла, которые успешно испытаны. Композиции выдерживают удар снаряда весом 1кг. летящего со скоростью 500 км/час.

Рис. Опытная композиция остекления высокоскоростного локомотива после испытаний.

Ведутся проработки использования гетерогенного остекления для создания вандалоустойчивых конструкций (оградительные щиты на стадионах, автобусные остановки, здание структур МВД и др.). В частности, установлены опытные образцы силикатно-поликарбонатного триплекса на стадионе «Казань Арена», г.Казань, изготовлены опытные образцы вандалоустойчивого остекления для камер предварительного задержания УВД московского метрополитена, изготовлена пилотная автобусная установка с антивандальным остеклением на основе поликарбоната, установленная в г.Обнинск.

Все больший интерес к остеклению из поликарбоната проявляют кораблестроители. Высокая ударная прочность и меньший вес по сравнению с остеклением из силикатного стекла позволяют повысить безопасность пассажиров и устойчивость судна в штормовых условиях за счет снижения его

центра тяжести . АО «ОНПП «Технология» ведет совместные работы с АО «ССЗ «Вымпел», г.Рыбинск по остеклению судна на подводных крыльях «Комета 120М». Первый корабль с новым остеклением успешно прошел ходовые испытания, получен заказ на остекление еще двух кораблей.