



Король В. Н., Двейрин А. З., Василевский Е. Т., Петропольский В. С., Горобец П. И.,  
Гаврилюк С. Е., Корост В. Я., Валко В. П.

Государственное предприятие «Антонов». Украина, г. Киев

## СОЗДАНИЕ АГРЕГАТОВ САМОЛЕТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ — НОВЫЕ ПОДХОДЫ, ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

### Анотація

*Розглянуті питання проектування, міцності, технологічності, виробництва і експлуатації агрегатів планера літака з композитних матеріалів інтегральної конструкції. На етапі проектування проведена експериментальна перевірка обраних конструктивно-технологічних рішень з моделюванням пошкоджувальних впливів навколишнього середовища. Відпрацьовані різні конструктивно-технологічні рішення (КТР). В результаті апробації розроблене оснащення для виготовлення інтегральних конструкцій з КМ. Виконаний аналіз стану агрегатів інтегральної конструкції після експлуатації протягом більше сімнадцяти років.*

### Abstract

*Designing, strength analysis, processability, manufacture and operation activity of airplane integral parts made of composite materials were described. During design phase the experimental verification of structural and technological decisions including environment damage modeling were executed. Different structural and technological decisions were worked out. Tools for integral composite parts manufacturing were developed as a result of testing. Analyses of technical state of integral parts were made after more than 17 years of operation activity.*

Анализ конструкторских разработок ведущих зарубежных фирм за последние два десятилетия показывает основные препятствия, сдерживавшие широкомасштабное применение композиционных материалов на полимерной матрице (ПКМ) в несущих конструкциях пассажирских и транспортных самолетов:

— чувствительность конструкций из ПКМ к факторам эксплуатации, — таким, как механические повреждения, комплекс климатических воздействий, — не позволяли уверенно применять эти материалы при создании силовых конструкций, долгое время вызывали у инженеров представление о «непредсказуемости» поведения таких конструкций, подвергающихся интенсивному воздействию повреждающих факторов эксплуатации;

— значительная вероятность, связанная с большим объемом ручного труда, технологических погрешностей и ошибок, имеющих субъективную природу, а также известная нестабильность свойств отформованных пластиков затрудняют применение ПКМ для изготовления ответственных высоконагруженных узлов и снижают весовое совершенство конструкций;

— наконец, высокая стоимость агрегатов из ПКМ, связанная не только с ценами исходных материалов, но также и с необходимостью соответствующей оплаты персонала, работающего, как правило, в экологически напряженных условиях.

В результате комплексного решения вопросов проектирования, прочности, оснащения производства, технологии изготовления и обеспечения качества была разработана концепция интегральной конструкции, состоящей всего из нескольких довольно крупных деталей, изготавливаемых в механизированном — а в процессе крупносерийного производства, возможно, и в автоматизированном — режиме. Применение для изготовления отдельных частей (секций) вакуум-автоклавного формования не только позволяет резко уменьшить объем механосборочных работ, но и существенно сократить количество концентраторов отверстий в силовом кессоне.

В то же время полученная таким образом механическая система представляется достаточно живучей благодаря рациональному распределению силовых функций между элементами конструкции и соответствующему выбору схем армирования для них, а также тому, что в конструкции предусмотрено наличие необходимого количества избыточных связей (диафрагм, узлов навески рулей).

Реализация концепции конструктивной интегральности потребовала не только новых технологических подходов, но и проведения значительного объема расчетно-исследовательских работ, нацеленных, в первую очередь, на развитие прикладных направлений строительной механики, изучающих поведение оболочек из слоистых анизотропных материалов и силовых соединений частей конструкции; выработку принципиальных подходов к обеспечению надежности и долговечности конструкции из композиционных материалов при воздействии всей гаммы эксплуатационных факторов.

На этапе проектирования проведена экспериментальная проверка выбранных конструктивно-технологических решений, включающая как моделирова-

ние аэродинамических нагрузок, соответствующих основным случаям нагружения в эксплуатации, так и динамические испытания с возбуждением высокочастотных колебаний с помощью вибростендов и акустических источников. Особое внимание уделено моделированию повреждающих воздействий окружающей среды (переменные температуры и влажность воздуха; полетные перепады внешнего давления по специально разработанному испытательному режиму), а также исследованию влияния на остаточную прочность конструктивных образцов технологических дефектов и эксплуатационных повреждений (механических ударов, молниеразрядов), долговечности и остаточной прочности восстановительных ремонтов поврежденных конструкций.

Одной из особенностей конструкций композиционных поверхностей управления является наличие в них значительного количества тонкостенных элементов, работающих в условиях сжатия и сдвига. Принимая во внимание, что для подобных конструкций истощение несущей способности зачастую ассоциируется с потерей устойчивости, повышенное внимание как расчетчиков, так и прочнистов-экспериментаторов было уделено, наряду с оценкой статической прочности элементов, именно разработке возможно более корректных расчетных схем, а также схем нагружения при испытаниях для оценки этих аспектов поведения тонкостенных конструкций.

Кроме того, наличие в конструкциях рулей металлических кронштейнов узлов навески и управления, а также необходимость соединять интегральные части конструкции заставило уделить внимание отработке соединений КМ-КМ и КМ-металл, в том числе с применением крепежа односторонней постановки.

В процессе проектирования благодаря сотрудничеству с Институтом проблем материаловедения АН Украины удалось также решить вопросы защиты композиционных конструкций от удара молнии.

И, конечно же, как на этапе подготовки производства, так и на всех этапах изготовления конструкций производится пооперационный контроль качества, начиная с приемки поставляемых материалов — компонентов будущего композита и заканчивая испытанием образцов-свидетелей интегральных частей конструкции и окончательным статическим контролем собранного агрегата.

При создании конструкций из ПКМ важное место занимают вопросы технологического обеспечения производства интегральных композиционных конструкций.

Одним из типов интегральных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ), применяемых в летательных аппаратах, являются конструкции, выполненные в виде обшивок, выходящих на теоретический контур (Т.К.), и подкрепляющего их внутреннего силового набора. Подобные

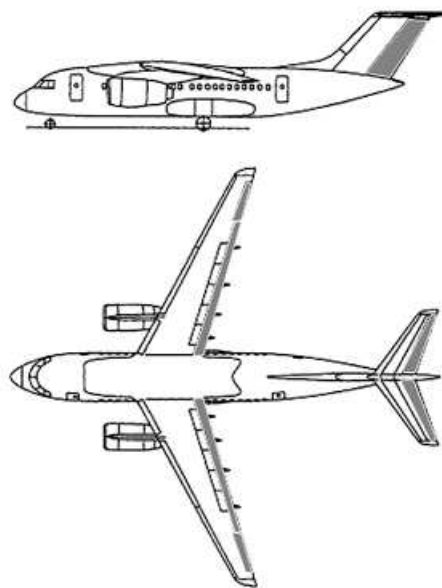


Рис. 1. Самолет Ан-148 фирмы «Антонов»

агрегаты с различным уровнем интегральности используются в некоторых типах зарубежных самолетов, но наиболее широкое применение нашли в конструкциях рулей высоты и направления, элеронов, хвостовых частей закрылков и других узлов и агрегатов самолетов Ан-70, Ан-148, Ан-158 фирмы «Антонов» (рис. 1).

Основными составными частями конструкций (рис. 2) являются: многонервюрный каркас, лонжерон, металлические узлы навески.

В зависимости от особенностей конструкции, ее состав может быть дополнен, например торцевыми нервюрами, носками, стойками и т. п.

Лонжероны и другие входящие детали из ПКМ выполняются по традиционным технологиям вакуумно-автоклавным способом. Металлические детали

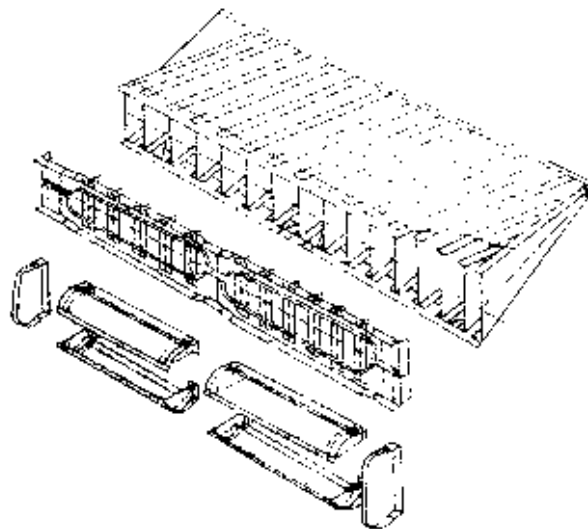


Рис. 2. Характерные интегральные конструкции из ПКМ



узлов навески выполняются механической обработкой.

Главной составной частью данной конструкции является многонервюрный каркас, качественное изготовление которого требовало поиска нестандартных технических решений при создании, как технологии, так и оснастки (рис. 3).

Многонервюрный каркас состоит из внешних обшивок, силовых нервюр, как правило, расположенных по местам установки узлов навески, рядовых нервюр и профиля хвостовой части.

В многонервюрном каркасе необходимо обеспечить точность внешних обводов, выдержать дистанции между нервюрами, прежде всего силовыми, обеспечить плоскостность стенок нервюр, размеры в зонах стыка каркаса с лонжероном.

Для получения требуемых прочностных характеристик необходимо обеспечить качественную пропрессовку всех составляющих элементов каркаса.

Наиболее ответственными и критичными местами конструкции, с точки зрения пропрессовки, являются зоны стыка стенок нервюр с обшивками и обшивок между собой по задней кромке.

Большое значение для обеспечения заданных прочностных и геометрических параметров каркаса имеет оснастка, с помощью которой выполняется формование.

В процессе создания оснастки для самолета Ан-70 были опробованы различные конструктивно-технологические решения (КТР) оснастки.

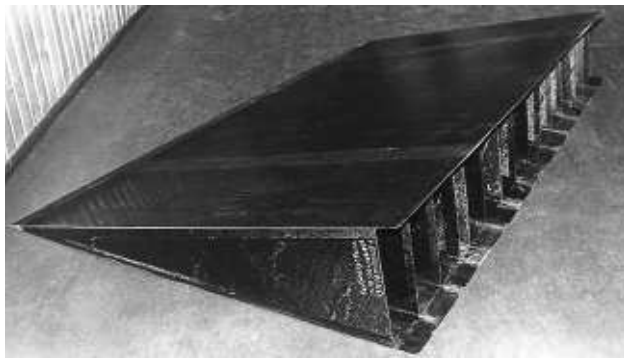


Рис. 3. Многонервюрный каркас

На начальном этапе, при технологической проработке конструкции, в качестве основной схемы была предложена схема автоклавно-термокомпрессионного формования с помощью монолитных оправок из кремнийорганической резины, ограниченных массивными полуформами. Данное КТР оснастки исключает процесс герметизации при изготовлении каркасов, а в случае необходимости, позволяет обеспечить выем оправок из сложного внутреннего контура каркаса.

Первыми агрегатами с многонервюрными каркасами, изготовленными на ГП «АНТОНОВ» были 3 секции хвостовых частей руля направления самолета

Ан 70. Каждая из них имела хорду около 1500 мм и размах около 3500 мм. Их теоретический контур был образован двумя плоскостями, пересекающимися между собой в зоне задней кромки.

Для их изготовления была спроектирована оснастка с базой от наружного теоретического контура. В качестве элементов, формирующих внутренние зоны каркасов, были использованы армированные резиновые мешки-оправки. Особенность таких мешков-оправок состояла в том, что они обеспечивали достаточную жесткость для укладки формируемого материала, в то же время были герметичны и податливы в угловых зонах для компенсации погрешностей увязки оснастки и обеспечивали надежную приформовку материала конструкции. Оправки были изготовлены из термостойкой сырой резины со вставками из стеклопластика на плоских участках. В передней зоне в оправки были установлены вставки из алюминиевого сплава, снабженные штуцерами для подачи автоклавного давления внутрь оправок. Оправки данной конструкции имели небольшой вес и были технологичны в работе. Кроме того, для облегчения выема оправок достаточно было подключить штуцеры к вакуумной системе, при этом мешки сжимались, после чего легко удалялись из внутренних полостей конструкции.

Следующим этапом было создание секций руля высоты и элеронов. В связи со сжатыми сроками изготовления агрегатов и большим циклом изготовления армированных мешков-оправок, была разработана конструкция жестких сборных оправок с внешними вакуумными мешками из ткани «500». Для секций руля высоты, где Т.К. достаточно прост, использовались сборные оправки из алюминиевого листа. Для элеронов, имевших более сложные внешние обводы, вертикальные стенки оправок были изготовлены из алюминия, а верхние и нижние стенки — из стеклопластика. Причем, с целью повышения точности размеров оправок стеклопластиковые элементы были изготовлены методом отпечатка на полуформах Т.К. через фальшдетали, которые имитировали толщину обшивок каркаса.

Опыт подтвердил возможность использования данной конструкции оснастки на этапе опытного производства.

Сложность герметизации технологического пакета при формовании с базой на Т.К. заставил продолжить поиск более простых и надежных решений. Одним из них выбрано формование конструкции с базой на внутренний контур. Преимуществом данного способа формования является высокая надежность технологического процесса, так как для вакуумирования требуется только внешний вакуумный мешок.

Анализ конструкции концевой секции руля высоты выявил особенности агрегата, позволившие

обеспечить его формование с базой на внутренний контур. Среди них:

- простая схема укладки слоев стенок нервюр;
- минимальное количество зон усиления внешних обшивок;
- отсутствие закрытых зон, облегчающее выем оправок.

Еще одним положительным моментом было то, что правый и левый каркасы данной конструкции возможно было выполнить на одной оснастке, что уменьшало количество требуемой оснастки вдвое.

При формовании на внутренний контур необходимо обеспечить давление на все элементы конструкции. И если создание давления на обшивки не представляет особых трудностей, то для обеспечения давления на стенки нервюр необходимо применение специальных КТР, так как на этапе укладки пакет углематериала имеет большую толщину, чем после прессования, что не позволяет выставить оправки в номинальное положение по дистанции. При формовании недостаточно одного только автоклавного давления на торцевые поверхности внешних оправок, чтобы уплотнить пакет до требуемой величины. Этому препятствуют силы трения, возникающие по внешним поверхностям оправок после создания давления формования. Дополнительное давление создавалось за счет использования в конструкции оснастки материалов с различными коэффициентами линейного термического расширения. Оправки были изготовлены из алюминиевого сплава, а ограничивающая их рама — из стали.

Для обеспечения качественной пропрессовки стенок нервюр необходимо, чтобы разность между суммами толщин многослойных пакетов стенок всех нервюр до и после формования была равна сумме приращений ширины оправок при температуре формования.

Как правило, такое условие обеспечить не удается, что может привести либо к недопрессовке стенок нервюр, либо к появлению в оснастке больших напряжений, приводящих к деформации конструкции оснастки. Для устранения возникающих несоответствий применяют специальные компенсационные устройства, основанные на различных принципах.

Несомненными преимуществами оснастки такой упрощенной конструкции являются:

- простота герметизации и получение высокого значения вакуума под мешком;
- меньшая трудоемкость изготовления агрегата за счет отсутствия вакуумных мешков на каждой оправке.

В качестве недостатков следует отметить трудность получения «идеальной» поверхности со сторо-

ны Т.К., а также ограниченность применения данной конструкции при наличии в агрегате закрытых зон со стороны внутреннего контура.

Создание оснастки для интегральных многонервюрных конструкций самолета Ан 148 выполнялось на основе опыта создания аналогичных конструкций самолета Ан-70.

Существенным преимуществом при создании самолета Ан-148 являлось наличие трехмерных моделей изготавливаемых агрегатов (рис. 4), что позволяло с большой точностью изготовить составляющие элементы оснастки на станках с числовым программным управлением.

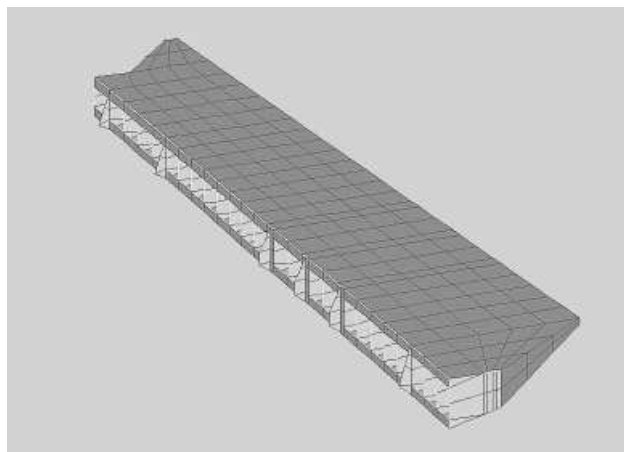


Рис. 4. Компьютерная 3D-модель самолетного агрегата

Для реализации этих возможностей в конструкцию оснастки были заложены КТР, предусматривающие механическую обработку элементов оснастки по программе. При малых габаритах оправки выполнялись монолитными, при больших, например, для руля направления, сборно-монолитными. Однако в связи со сложностью внешних геометрических обводов поверхностей управления самолета Ан-148, вся оснастка для их изготовления выполнялась с базой от Т.К., хотя данный вариант оснастки и является более сложным.

Таким образом, в настоящем докладе отражен опыт, накопленный при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных при проектировании, технологической отработке, испытаниях и эксплуатации конструкций поверхностей управления и механизации крыла самолетов Ан-70, Ан-148, Ан-158 начиная с 1985г. Периодически выполняемый при регламентных работах инструментальный контроль агрегатов показал их достаточно высокую эксплуатационную надежность в течение уже более 17 лет.