

УДК 629.735.33

А. В. Андреев, канд. техн. наук,  
Я. О. Головченко,  
А. А. Коцюба

**СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ  
АГРЕГАТОВ АВИАКОНСТРУКЦИЙ  
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ STELIA AEROSPACE\***

Делегация сотрудников ГП «Антонов» в сентябре текущего года приняла участие в ежегодной международной конференции, организуемой Обществом по продвижению технологий, материалов и производственных процессов SAMPE Europe в Amiens (Франция), в которой приняли участие представители 22 стран.

Целью проведения этих конференций является обмен опытом и демонстрация достижений в области композиционных материалов различных европейских компаний и исследовательских институтов. Кроме этого, обязательной частью этих конференций является организация посещения различных производственных предприятий стран Европы, специализирующихся на производстве агрегатов из композиционных материалов (КМ) для авиа- и автомобилестроения.

В 2015 году участники конференции посетили компанию STELIA AEROSPACE (образованную после слияния фирм Aerolia и Sogerma), которая специализируется на проектировании и изготовлении различных агрегатов самолета из металлов и композитов (секции фюзеляжа самолетов семейства A320, A300, A310, A330, B747, B767, B777, B787, Bombardier, Dassault F7X, C17, рампа A400M, пол A330 и A380, крылья ATR 42 и ATR 72 и др.), пассажирских кресел и кресел пилотов, композитных деталей вертолетов для Eurocopter & Guimbal и других компаний.

Тематика докладов конференции ориентирована на широкий круг посетителей и участников, работающих как в области проектирования, так и изготовления изделий из КМ.

Целью делегации ГП «АНТОНОВ» являлось участие в конференции, изучение представленных докладов, анализ новых конструктивно-технологических решений (КТР) конструкций из композитов различного назначения, а также изучение предприятия STELIA AEROSPACE в части производственных процессов, организации производства, применяемого оборудования и материалов для конструкций и технологического оснащения.

Основное внимание в докладах было уделено современным производственным процессам изготовления деталей из КМ, в особенности

---

\* По материалам международной конференции SAMPE Europe 15-17 сентября 2015 г., Amiens France.

из термопластичных композитов, а также передовым процессам моделирования композитных конструкций, визуализации процессов сборки, анализу повреждений и испытаниям.

Среди докладов конференции особое внимание привлекли следующие.

Фирма Airbus разработала технологию изготовления композитного центроплана за один технологический прием, позволивший существующую конструкцию из восьми деталей заменить одной, что обеспечивает снижение массы конструкции на 5%, а стоимости – на 20%.

Фирма Evonik industries разработала новый вид пенопласта Rohacell Hero, превосходящий по своим характеристикам остальные марки пенопласта Rohacell.

Для проведения сравнительного анализа была изготовлена створка передней опоры самолета A320 в следующих исполнениях (рис. 1):

- трехслойная конструкция с применением сот Nomex;
- трехслойная конструкция с применением пенопласта Rohacell Hero, выполненная по инфузионной технологии.

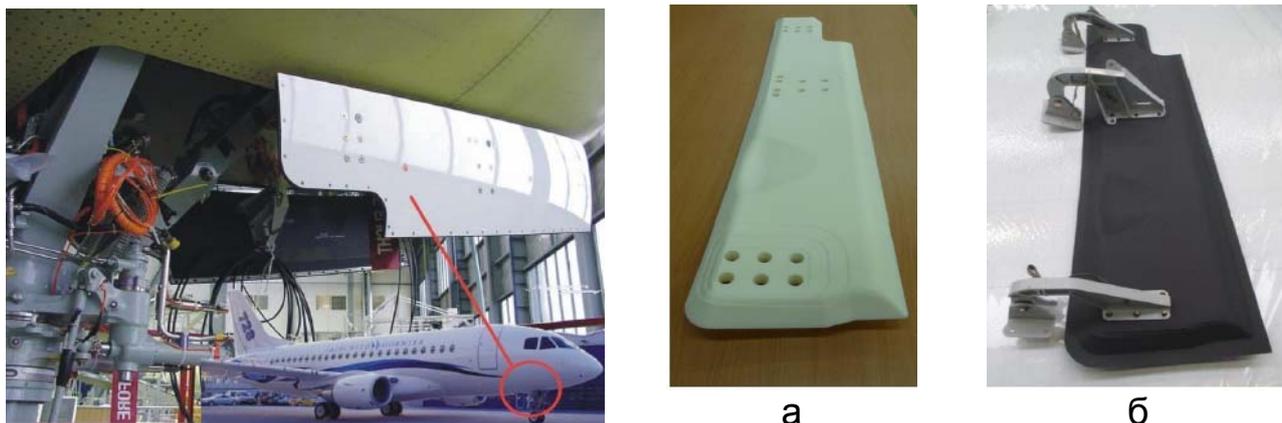


Рисунок 1 – Створка передней опоры самолета A320 из КМ:  
 а – трехслойная конструкция с сотами Nomex;  
 б – трехслойная конструкция с пенопластом Rohacell Hero

В итоге применение последнего обеспечило снижение массы конструкции на 19%, а стоимости – на 20 – 25%.

Национальная аэрокосмическая лаборатория (Нидерланды) представила проект КТР, обеспечивающий снижения массы традиционной конструкции гермошпангоута из алюминиевых сплавов на 10%. Было рассмотрено два типа композитной конструкции: подкрепленная панель и трехслойная панель. В процессе разработки для обеспечения защиты конструкции от столкновения с птицей была добавлена панель из материала Дупеета (применяется в бронезилетах, изготавливается из кевларовых волокон).

Разработан новый вид технологического процесса изготовления композитных изделий из препрегов без использования автоклавов и

превосходящий RTM процессы, получивший название SQRTM (Same Qualified Resin Transfer Molding) (Бельгия)

Одной из французских компаний разработаны установка и метод использования гидрорезки для вскрытия отверстий в панелях, подлежащих ремонту и также постепенного удаления слоев в зонах расслоений. По информации докладчика, эта портативная установка весом 70 кг будет запущена в производство в следующем году.

На выставочных стендах фирм-участников были представлены композитные агрегаты. Основным интерес представляли несколько выставочных образцов с отличительными КТР.

1. Элемент панели фюзеляжа, изготовленный из углепластика в рамках программы Clean Sky. При изготовлении этой конструкции была использована термопластичная матрица и следующие технологические процессы: формование в жестких формах, компрессионное формование, а также сварка термопластичных материалов (рис. 2).

Силовой набор конструкции представлен омегаобразными стрингерами и шпангоутами П-образного сечения с компенсаторами в зонах перехода. В шпангоутах сделаны вырезы в зонах пересечения стрингеров (рис. 2, а). Очевидно, что компенсационные накладки служат связующим звеном для передачи усилий от обшивки к шпангоутам. На рис. 2 показаны заделки узлов крепления панели и окантовки вырезов. В изготовлении этой конструкции участвовали известные европейские институты и компании, такие, как Fraunhofer, NLR, Fokker Aerospace. Представленный образец демонстрирует возможности сварки композиционных материалов на основе термопластичных матриц как один из вариантов частичной замены механического крепежа в авиационных конструкциях для снижения их массы. Это КТР пока не применено на каком-либо самолете, экспонат изготовлен для физико-механических испытаний и дальнейшей сертификации.

Другой экспонат панели фюзеляжа также изготовлен из углепластика и вообще не имеет механического крепежа для фиксации силового набора. Его конструктивная схема аналогична предыдущей, однако ее отличительная особенность заключается в том, что силовой набор – стрингеры приклеены к обшивке, а шпангоуты имеют составную конструкцию (рис. 3). Верхняя часть шпангоута имеет С-образное сечение и приварена к обшивке, вторая часть шпангоута таврового сечения и приварена к верхней части. Верхняя часть шпангоута не имеет открытых зон пересечения со стрингерами, в нижней части – выполнены вырезы для стрингеров. Кроме этого, зоны пересечения шпангоутов со стрингерами имеют дополнительные усиливающие накладки. Углы укладки препрегов в шпангоутах и стрингерах имеют структуру  $\pm 45^\circ$ , следовательно, можно предположить, что они изготовлены методом намотки или автоматизированной выкладки. Образец конструкции представлен компанией Fokker Aerospace.



а



б

Рисунок 2 – Элемент панели фюзеляжа из углепластика:  
 а – типовые просечки и перестык элементов силового набора;  
 б – заделка узлов крепления и окантовки вырезов

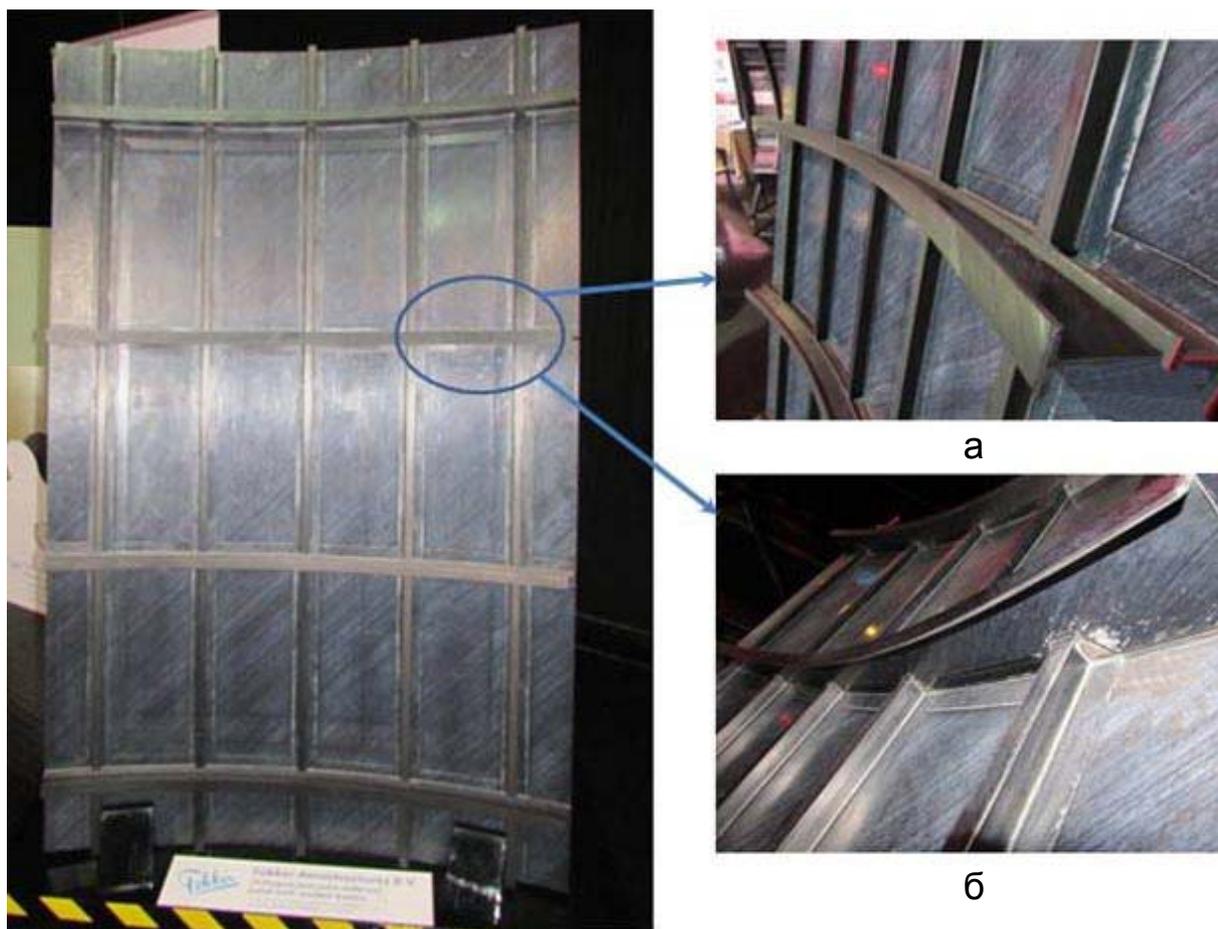


Рисунок 3 – Углепластиковая панель фюзеляжа без механического крепежа для фиксации силового набора:  
 а – верхняя и нижняя части шпангоута; б – зона выреза

Компанией Coehpair совместно с фирмой Radius был представлен элемент крыши вертолета из углепластика. Экспонат изготовлен методом SQRTM (Same Qualified Resin Transfer Molding). Суть метода заключается в использовании RTM оснастки (формование в закрытых формах), только в качестве заготовки используется препрег, а не сухая преформа. Данное решение позволяет получить следующие преимущества от обоих технологических методов (метода RTM и препрегового метода): высокое качество получаемых деталей, автоматизация процесса расположения заготовки на оснастке, высокая степень повторяемости изготавливаемых деталей. Таким методом, например, компания SONACA начиная с 2015 г. изготавливает полноценные закрылки для региональных самолетов и к следующему году планирует завершить сертификацию своего производства (доклад представителя компании SONACA был представлен на конференции). Считается, что данный метод производства композитных конструкций имеет большой потенциал развития для серийного производства конструкций из композиционных материалов. Элемент каркаса вертолета с узлами крепления, изготовленный с помощью метода SQRTM, показан на рис. 4.

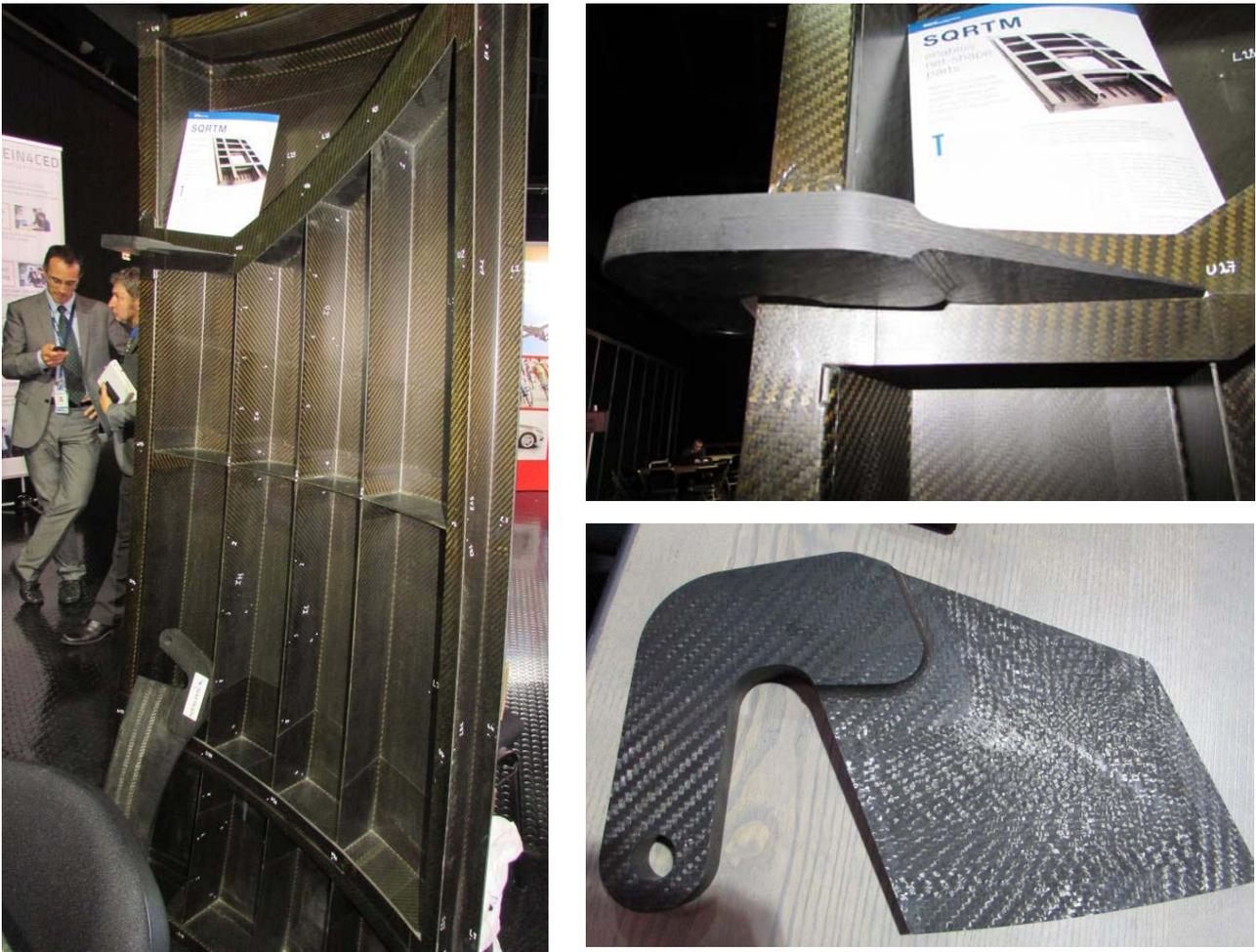


Рисунок 4 – Фрагмент крыши вертолета из углепластика

Кроме того, на стенде компании были представлены элементы конструкций, изготовленные описанным выше методом (рис. 5 и 6).



Рисунок 5 – Фрагмент закрылка



Рисунок 6 – Фрагменты экспериментальной панели крыла

Для делегации ГП «Антонов» был организован визит на производственное предприятие STELIA AEROSPACE, которое является европейским лидером по производству авиационных конструкций, специализируется на производстве деталей из композиционных материалов, а также кресел для экипажа и пассажиров бизнес- и экономического классов. В компании работает более 6 000 человек, годовой доход компании составляет более 2 миллиардов долларов.

Был показан цех для проведения тренингов и практических занятий молодых специалистов и студентов, которые приходят работать на предприятие. По информации представителя компании, руководство ведет политику подготовки и привлечения молодых специалистов еще на стадии их обучения в учебных заведениях. Для проведения практических занятий по изготовлению и сборке несложных конструктивных элементов из композитов создан отдельный цех, в котором имеется все необходимое для этого оборудование. Сборочные стапелы, инструмент, рабочие места, материалы, все это есть в практическом тренинговом центре STELIA. Необходимость этого объясняется потребностью набора молодых кадров для обеспечения и расширения производства.

После этого делегация посетила цех агрегатной сборки носовых отсеков фюзеляжа для самолетов AIRBUS A350XWB. Для этого самолета компания AIRBUS выбрала панелированный метод сборки отсеков фюзеляжа, т.е. состоящий из отдельно изготовленных композитных панелей с и их последующей сборкой. Композиционные панели изготавливаются из углепластикового препрега фирмы «Hexcel Composites», и эта компания определена как основной поставщик углеродных материалов и связующих для этого самолета.

В цехе окончательной сборки отсеков было замечено большое количество металлической оснастки для выклейки углепластиковых панелей. Не было замечено ни одной полимерной формы, что объясняется большой серией выпускаемых деталей. По информации представителя компании, оснастку проектирует и изготавливает сторонняя организация

в США в рамках кооперации по производству агрегатов и оснастки программы A350XWB.

Для изготовления обшивок форм применяют инвар – сплав никеля с железом. Данный сплав обладает коэффициентом линейного термического расширения, близким к углепластику. Это позволяет создавать конструкции с хорошими размеростабильными характеристиками, что особенно важно при сборке таких ответственных и крупногабаритных агрегатов, как носовые части фюзеляжа. Основной каркас оснастки изготавливают из стали и алюминия.

Качество деталей на высоком уровне как с лицевой стороны, так и со стороны вакуумного мешка. Отмечено также, что по краю каждой панели наклеена липкая резиновая прокладка, назначение которой, по видимому, компенсация деформационных напряжений, которые возникают при формовании панели в автоклаве под действием температуры и давления.

Цех оснащен автоклавным отделением и имеет один автоклав фирмы «Scholz» с габаритными размерами  $\varnothing$  7x16 м. По словам представителя компании одного автоклава в скором времени будет недостаточно для обеспечения растущей серии выпускаемых деталей. Предприятие выпускает более 600 комплектов носовых частей фюзеляжей в год. Предприятие работает в три смены.

После осмотра сборочного цеха делегация ознакомилась с цехом по производству непосредственно самих деталей из углепластика.

Цех, в котором изготавливают детали, обладает высокой степенью чистоты помещения в целях исключения попадания посторонних мелких частиц, типа пыли, в конструкцию детали. Циркуляция воздуха выполнена таким образом, что в цехе воздух меняется полностью два раза за одну рабочую смену. Помещение цеха герметично и в нем создано и поддерживается избыточное давление для удерживания мелких посторонних частиц на полу, пол покрыт специальной антистатической эпоксидной краской. Перед входом в цех все обязательно надевают специальные халаты, рабочие также обувают бахилы. Требования по чистоте производства продиктовано заказчиком и нормами качества, действующими на предприятии.

Нам было продемонстрировано изготовление обшивки панели фюзеляжа на установке по автоматической выкладке волокна.

Позиционирование силового набора (стрингеров) осуществляется в специальном сборочном приспособлении, которое спроектировано и изготовлено в соответствии с требованиями компанией Broetje Automation (Германия).

## Выводы

### 1. Автоматизация производства

Интенсивное развитие отрасли производства агрегатов из композиционных материалов, значительные объемы серийного производства диктуют необходимость высокой степени автоматизации производственных процессов с одновременным сокращением ручного труда для повышения и обеспечения качества изготавливаемых агрегатов. Переход к изготовлению силовых конструкций (primary structure) из композитов является яркой демонстрацией этой динамики. На производстве Stelia Aerospace были продемонстрированы автоматизированные комплексы по изготовлению и сборке композитных панелей фюзеляжа производства германской компании Broetje Automation, которые разработаны и изготовлены по техническому заданию компании Stelia.

### 2. Новые технологические процессы и материалы

В настоящее время все более широкое применение находят безавтоклавные технологии производства изделий из композитов, такие как вакуумная инфузия и методы RTM (resin transfer molding), SQRTM. Причиной распространения этих технологических методов можно считать высокий уровень повторяемости и качества деталей, а также экономическую эффективность при большой серии выпуска, т.к. эти методы позволяют изготавливать детали без использования энергоемких автоклавов. Особое внимание на конференции уделено вопросам развития термопластичных материалов и вопросам их переработки.

### 3. Критерии проектирования конструкций из КМ

В настоящее время с ростом автоматизации и роботизации композитных производств проектирование композитных конструкций претерпевает значительные изменения. При проектировании, критерий минимума массы уже является не первостепенным. Наиболее значимым в настоящее время является упрощение и снижение стоимости производства композитных конструкций для обеспечения возможности их серийного производства на автоматизированных выкладочных машинах, сокращение ручного труда, даже с допущением небольшого превышения массовых характеристик.

### 4. Моделирование композитных конструкций

Обеспечение работы комплекса автоматизированных систем по укладке материала, раскрою на раскройных машинах, лазерных проекционных систем невозможно без цифрового послойного моделирования конструкций из композиционных материалов.

Решением этой проблемы служит изменение принципов и инструментария проектирования композитных конструкций. В настоящее время наиболее совершенным, охватывающим всю цепочку проектирования от прочностных расчетов до технологии изготовления деталей является

модуль послойного моделирования «FiberSim», который представляется целесообразным внедрить на ГП «Антонов».

**5.** Повышение уровня производства и качества деталей из композиционных материалов является комплексным вопросом, охватывающим стадию проектирования и математического моделирования в совокупности с необходимостью модернизации производства для повышения уровня автоматизации. Применение раскройных и выкладочных машин, лазерных проекционных систем, сборочных центров позволит не только повысить качество и точность изготовления деталей, но уменьшить расход дорогостоящих материалов, сократить циклы производства деталей и уменьшить объем ручного труда. Безусловно, внедрение такого оборудования требует немалых начальных инвестиций, однако, как показывает практика многих зарубежных компаний, специализирующихся на серийном производстве композитных деталей в рамках кооперации европейских и американских авиационных программ, такие инвестиции окупаются.

*Поступила в редакцию 15.10.2015.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. А. Бычков,  
ГП «Антонов», г. Киев.*