

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ САМОЛЕТА ИЗ КОМПОЗИТОВ

Рассмотрена хронология применения композиционных материалов в конструкции самолетов семейства Ан. Проанализировано применение композитов в высоконагруженных агрегатах современных пассажирских и транспортных самолетов. Разработаны конструктивно-силовые схемы рампы и трапа из композитов. Рассмотрен процесс проектирования композитного трапа грузолюка транспортного самолета.

Ключевые слова: самолет, композит, проектирование, агрегат, фюзеляж.

Вступление. Благодаря уникальным свойствам ПКМ, которые проверены временем и эксплуатацией, сейчас существует множество как отечественных, так и зарубежных компаний, научных институтов, занимающихся разработкой новых армирующих (АМ) и связующих материалов, технологических процессов и специального оборудования для изготовления композитных деталей, последние достижения которых представлены на международных выставках и конференциях.

Обзор последних источников исследований. На сегодняшний день полимерные композиционные материалы (ПКМ) получили широкое распространение во всех отраслях народного хозяйства, но, конечно же, особое место среди применяемых материалов они заняли в самолетостроении [1]. По сравнению с традиционными материалами ПКМ обладают преимуществами, позволяющими изготавливать детали сложной геометрической формы, уменьшить массу летательного аппарата (ЛА), тем самым увеличив его топливную эффективность, улучшить аэродинамические характеристики самолета и т.п.

В конструкции самолетов семейства Ан стекло-, угле- и боропластики начали активно применяться с 60-х годов XX века (рис. 1).

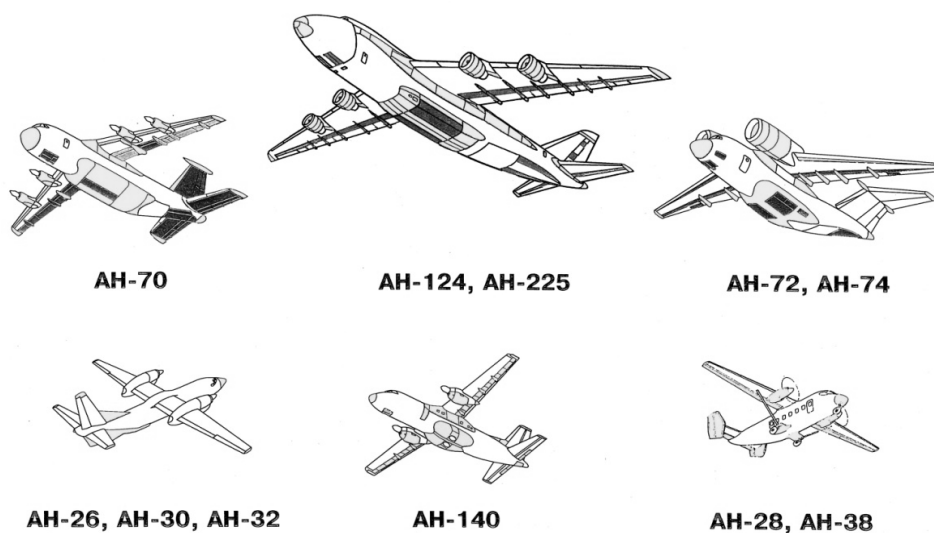


Рисунок 1 – Применение ПКМ в конструкции самолетов семейства Ан

Постепенно ПКМ прошли долгий путь освоения от простых малонагруженных до более сложных средне- и высоконагруженных конструкций. Примерами последних являются багажные полки самолетов Ан-24, комплексы деталей интерьера самолета Ан-26 и мотогондолы самолета Ан-28, обтекатель шасси, зализы крыла с фюзеляжем самолета Ан-

72, масса которого была снижена на 350 кг благодаря применению ПКМ, после чего в СССР началось серийное производство композитных деталей для пассажирских и транспортных самолетов.

При проектировании же самолета Ан-124 впервые были созданы такие крупногабаритные конструкции из ПКМ, как обтекатель радиолокационной станции (РЛС), боковые створки грузолюка, корпуса воздухозаборников диаметром 2,4 м, панели зализа, створки и панели обтекателя шасси, законцовки крыла и стабилизатора, подвижные обтекатели монорельсов закрылков (рис. 2). Применялись интегральные как монолитные, так и трехслойные конструкции [2].



Рисунок 2 – Применение ПКМ в конструкции самолета Ан-124

Опыт, полученный при проектировании самолета Ан-124, позволил применить более смелые решения в конструкции Ан-70, а именно, помимо традиционных композитных агрегатов, изготовить интегральную углепластиковую конструкцию хвостового оперения, таким образом, впервые в СНГ была создана композитная конструкция киля и стабилизатора методом автоматизированной намотки. Благодаря применению композиционных материалов масса самолета была снижена на 2250 кг.

Доля ПКМ в современных региональных пассажирских самолетах Ан-148 и Ан-158 достигает 17%. Из композитов изготовлены створки и панели обтекателя шасси, поперечные балки и панели пола, отсек вспомогательной силовой установки [3, 4], обтекатель РЛС, концевые аэродинамические поверхности (КАП) крыла (Ан-158), зализ крыла и фюзеляжа, мотогондолы двигателей, почти все агрегаты механизации крыла, панели хвостового оперения (рис. 3).

Таким образом, в течение 55 лет происходило постепенное увеличение объема ПКМ в конструкции самолетов семейства Ан.

Зарубежные фирмы, занимающиеся самолетостроением, также уделяют огромное внимание ПКМ. Следует отметить такие пассажирские самолеты, как Boeing 787 и A350 XWB фирмы Airbus, объем ПКМ в конструкции которых составляет 50% и 52% соответственно (рис. 4).

Отдавая предпочтение ПКМ, постепенно в конструкции самолета появляются все новые и новые композитные агрегаты. Например, на последнем салоне Jec Composites в Париже и в Ле Бурже была представлена композитная дверь для узкофюзеляжного самолета, которая разработана фирмой Latécoere в рамках европейского проекта Maximus, которым руководит фирма Airbus.



Рисунок 3 – Применение ПКМ в конструкции самолетов Ан-148/158



Рисунок 4 – Самолеты Boeing 787 и A350 XWB



Рисунок 5 – Пассажирская дверь, разработанная фирмой Latécoere в рамках европейской программы Maximus

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Композиты широко применяются не только в современных пассажирских, но и в транспортных самолетах, примером чего является самолет А400М фирмы Airbus. В январе 2007 года компанией European Aeronautic Defence and Space Co. (EADS) Military Air Systems Business Unit (Аугсбург, Германия) по заказу Airbus для сборки первого фюзеляжа А400М была изготовлена первая створка грузолука – наибольшая на данный момент авиационная конструкция из КМ, изготовленная с использованием технологии вакуумной инфузии (рис. 6).

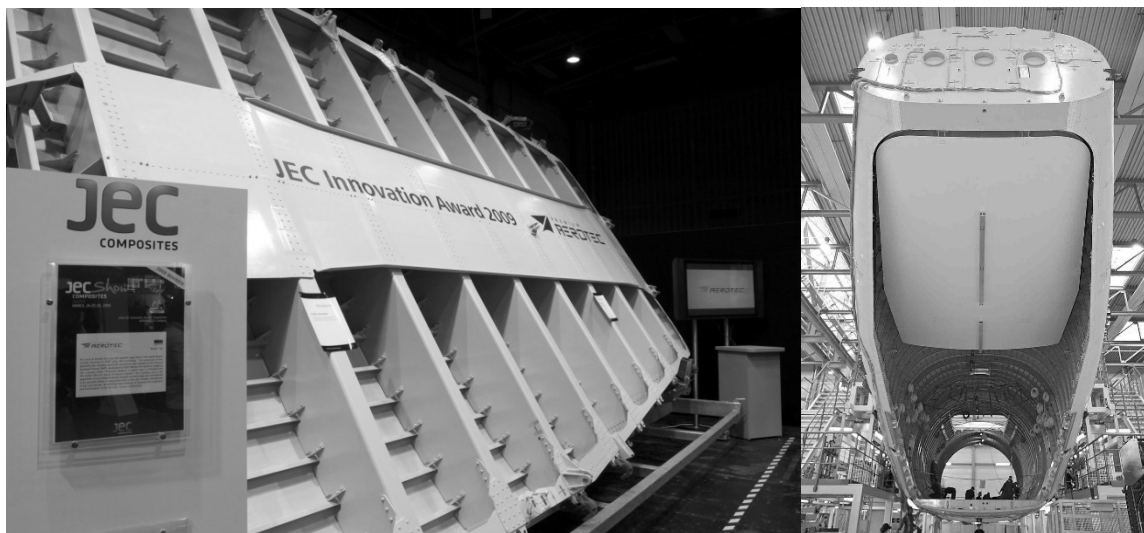


Рисунок 6 – Створка грузолука самолета А400М была представлена на выставке JEC Composites Show в Париже, Франция

Таким образом, большая доля агрегатов самолетов как отечественных, так и транспортных фирм выполнена из композитов, но в литературе и других источниках отсутствует информация о применении ПКМ для изготовления рампы и трапов грузолука транспортного самолета, что является следующим шагом в проектировании высоконагруженных конструкций из ПКМ, чему и посвящена данная статья.



а

б

Рисунок 8 – Элементы грузолука:

а – самолет Ан-70, б – самолет С-130.

Важными элементами грузового люка любого транспортного самолета являются рампа и трапы (рис. 8), которые служат для погрузки, разгрузки и швартовки грузов, транспортируемых самолетом. Наличие рампы, трапов, а также погрузочно-разгрузочного оборудования, установленного на самолете, позволяет загружать и выгружать самоходную гусеничную и колёсную технику, несамоходную колёсную технику, платформы с

грузами, а также осуществлять погрузку и выгрузку поддонов различных контейнеров и других видов грузов. Техника и грузы, в зависимости от их типа и массы, размещаются на полу грузовой кабины и на рампе самолета в один или два ряда, согласно допустимыми нагрузками, определяемым для каждого самолета.

Разработка конструктивно-силовых схем (КСС) данных агрегатов достаточно подробно рассмотрена в работах [5, 6]. Остановимся на вопросе проектирования съемных трапов, являющихся элементами бортового оборудования транспортного самолета и служащих для обеспечения погрузки-выгрузки автомобилей и другой техники. К трапу предъявляются требования легкости (для обеспечения его установки обслуживающим персоналом), жесткости (чтобы прогиб не вызывал нерасчетных видов нагружения) и прочности (для достаточного эксплуатационного ресурса). Анализ рассмотренных в работе [5] КСС показывает, что для трапа рационально применить КСС, состоящую из тонкой обшивки, окантовочных и продольных балок, которые будут постоянно воспринимать нагрузку от колеса во время движения техники по обшивке агрегата.

Целевая функция проектирования трапа:

$$M \rightarrow \min, \quad (1)$$

где M – масса.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Для изготовления трапа возможно применение стекло-, угле- и органопластиков. Конечно же, углепластики обладают более высокими физико-механическими характеристиками по сравнению со стеклопластиковыми, но их стоимость достигает 900 \$ за кг, в отличие от стеклопластиков, где в среднем цена составляет около 100 грн за кг. В свою очередь использование углепластика накладывает ограничения на применение материалов кронштейнов навески и крепежа ввиду исключения возможности появления электрохимической коррозии и, как следствие, разрушения конструкции в процессе эксплуатации. Также углепластики более чувствительны к ударным повреждениям, которые сложно исключить в условиях работы трапов.

Постановка задания. Для композитных трапов лучше использовать стеклопластики, органопластики же целесообразно применить лишь для внешнего слоя обшивки, который подвержен абразивному износу.

Основной материал и результаты. Любой расчет ведется с учетом коэффициента безопасности, который каждое предприятие, проектирующее самолеты, определяет и прописывает в своих внутренних регламентирующих документах.

В данном случае коэффициент безопасности примем равным 2, но помимо этого при проектировании композитных деталей вводятся дополнительные коэффициенты, учитывающие разброс физико-механических характеристик (ФМХ) ПКМ ($k_1=0,9$), влияние климатического воздействия ($k_2=0,9$), чувствительность материала к концентрации напряжений ($k_3=0,9$), влияние масштабных факторов (для растяжения $k_4=0,9$, для сжатия $k_5=0,8$).

Вначале по известным формулам механики сопротивления материалов определяются опорные реакции и строятся эпюры внутренних силовых факторов (осевой и поперечной силы, изгибающего момента). При этом рассматриваются несколько расчетных случаев нагружения, расчет ведется по наиболее опасному.

Расчет данного композитного трапа ведется для Урала-4320 (максимальная нагрузка на одно колесо составляет около 2500 кг). При эксплуатации возможно нахождение как одного, так и сразу двух колес автомобиля на секции трапа (габариты которого составляют 600x2000 мм). Конечно же, наиболее опасным, является случай, когда колесо находится посередине трапа (рис. 8).

Размер колеи, габаритов и профиля колеса, внутреннего давления в шинах, а также возможных вариантов размещения колес по ширине трапа влияют на количество и шаг установки его продольных балок.



Рисунок 8 – Погрузка грузового автомобиля на платформе П-7 при помощи съемных трапов, закрепляющихся на рампе

Как видно из сказанного выше, основным конструктивным элементом любого агрегата являются балки и обшивка, алгоритмы проектирования которых подробно рассмотрены в работе [7]. Параметры стенок и полок балок определяются с учетом принятых в [7, 8] допущений.

Масса композитного трапа, спроектированного согласно указанным выше требованиям, составляет около 16 кг, в то время, как его аналог, выполненный из традиционных металлических сплавов, весит около 24 кг. Конечно же, себестоимость композитного трапа выше себестоимости металлического, но точка безубыточности в случае применения композиционных материалов наступает достаточно быстро, ввиду экономии большого количества топлива при полете самолета.

Выводы. Таким образом, на сегодняшний день фирмы-самолетостроители имеют большой опыт по проектированию агрегатов самолета из ПКМ: разработано множество армирующих и связующих материалов, постоянно совершенствуются технологические процессы изготовления композитных деталей, разрабатывается и внедряется новое оборудование, наработано достаточное количество методик прочностного расчета, проверенного и скорректированного длительной эксплуатацией. Но все-таки до сих пор существуют возможные варианты дальнейшего применения ПКМ в высоконагруженных конструкциях самолета, что и было показано в данной работе на примере проектирования композитного трапа транспортного самолета.

Литература

1. Попов, Э.В. Применение полимерных композиционных материалов в авиационных конструкциях началось с планеров легких самолетов [Текст] / Э.В. Попов, В.С. Савинич, Я.А. Сосунов, А.Г. Шведов // Крылья Родины. – 2013. – № 11-13. – С. 24-31.
2. Петропольский, В.С. Композиты в конструкциях «Руслана» [Текст] / В.С. Петропольский // Родина. – 2012. – 1 дек. – С. 2.
3. Кива, Д. С. Конструкции из композиционных материалов в самолете Ан-148 [Текст] / Д. С. Кива, А.З. Двейрин, А.М. Баранников, В.С. Петропольский, В.И. Цариковский // Сборник статей конференции Славполиком «Композиционные материалы в промышленности». – Я., 2007. – Вып. 37. – С. 5–9.
4. Двейрин, А.З. Проектирование агрегатов фюзеляжа самолета из композитов [Текст] / А.З. Двейрин, Я.С. Карпов, В.А. Костюк, Я.О. Головченко // Технологические системы. – 2014. – № 1 (66). – С. 38-42.
5. Карпов Я.С. Общий подход к проектированию конструктивно-силовой схемы дискретно-опертых агрегатов самолетов из композитов / Я.С. Карпов, Я.О. Головченко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3 (75). – Х., 2013. – С. 7 – 12.

6. Головченко Я.О. Выбор рациональных конструктивно-силовых схем агрегатов самолета из композитов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 63.– X., 2014. – С. 5 – 11.

7. Карпов Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: учебник / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 768 с.

8. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 270 с.

© Я.О. Головченко

УДК 629.735

Я.О. Головченко, аспірант

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

ПРОЕКТУВАННЯ АГРЕГАТИВ ЛІТАКА З КОМПОЗИТИВ

Розглянута хронологія застосування композиційних матеріалів у конструкції літаків сімейства Ан. Проаналізовано застосування композитів у високонавантажених агрегатах сучасних пасажирських і транспортних літаків. Розроблено конструктивно-силові схеми рамп і трапа з композитів. Розглянуто процес проектування композитного трапа вантажного люка транспортного літака.

Ключові слова: літак, композит, проектування, агрегат, фюзеляж.

UDC 629.735

I.O. Golovchenko, postgraduate student

National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute»

COMPOSITE AIRCRAFT AGGREGATES DESIGN

The chronology of composite materials application in the design of family An planes was considered. Application of composites in the high-loaded units of modern passenger and transport planes was analysed. Constructive-bearing schemes of composite stage and trap was developed. Design process of the transport plane cargo hatch composite trap was considered.

Keywords: aircraft, composite design, aggregate, fuselage.