

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АГРЕГАТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И РЕАЛИЗУЮЩИХ ИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Можно констатировать, что несмотря на объективные трудности, имеющие место для авиастроения Украины в последние 15 лет отечественное авиа индустрия не утратила на мировой арене престижа создателя современных воздушных судов. [1 – 3]. С этим связано и отсутствие существенного прогресса в росте объема применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) как признанного в мире фактора существенного снижения массы конструкций как значимого признака совершенствования авиационной техники, не наблюдается [2 – 5]. Практически отсутствуют внедренные конструктивно-технологические решения (КТР) силовых конструкций после интегральных конструкций киля и стабилизатора самолета Ан-70 (1988-2000 гг.) [2].

Ниже приведены сведения, касающиеся анализа типовых КТР элементов конструкций агрегатов на примере самолетов марки «Ан» с указанием времени начала их эксплуатации. В таблице 1 приведен перечень таких КТР, самолетов, в которых они реализованы и времени начала их эксплуатации.

Таблица 1 – Перечень предварительно разработанных интегральных конструкций из ПКМ самолетов марки «Ан»

№ п/п	Тип конструкции	Перечень конструкций, находящихся в эксплуатации	Начало эксплуатации
1	Панели плоские, одинарной и небольшой двойной кривизны	Откидные панели крыла в элеронной зоне крыла самолета Ан-124	с 1982 г. углепластик
		Панели внешние мотогондол двигателей самолетов Ан-72, Ан-74, Ан-124, Ан-225, Ан-148	с 1975 г. стеклопластик
		Панели фальшбортов кабины самолета Ан-72	с 1975 г. стеклопластик
		Панели багажных полок самолета Ан-140	с 2005 г. стеклопластик
		Панели хвостовых частей киля и стабилизатора самолета Ан-148	с 2006 г. углепластик

Продолжение табл. 1

№ п/п	Тип конструкции	Перечень конструкций, находящихся в эксплуатации	Начало эксплуатации
2	Агрегаты механизации крыла	Интерцепторы самолетов: – Ан-70 – Ан-140 – Ан-148	с 1994 г. с 1998 г. с 2006 г. углепластик
		Носовая и хвостовая части закрылков самолетов: – Ан-70 – Ан-148	с 1994 г. с 2006 г. углепластик
		Элероны самолета Ан-148	с 2006 г. углепластик
		Триммеры и сервокомпенсаторы самолетов Ан-140 и Ан-72	с 2005 г. стеклопластик
3	Оболочки двойной кривизны	Корпуса воздухозаборников двигателей самолетов Ан-72, Ан-74, Ан-124, Ан-225, Ан-148	с 1975 г. стеклопластик
4	Крупногабаритные силовые агрегаты планера конической формы большой строительной высоты	Каркасы кия и стабилизатора самолета Ан-70	с 1994 г. углепластик
		Рули оперения самолета Ан-148	с 2006 г. углепластик

Рис. 1 демонстрирует объемы и характер применяемых ПКМ на самолете Ан-178.

Опыт изготовления деталей из ПКМ каркасной конструкции самолета Ан-178 подтверждает основные технологические сложности их изготовления:

- необходимость использования оснастки сложной конструкции для обеспечения фиксации диафрагм панели, помимо сложности и трудоемкости их собственного изготовления значительно усложняется герметизация вакуумных мешков при формовании панели, что приводит к появлению зон непрочности на детали и необходимости ее ремонта или доработки;

- наличие большого объема и номенклатуры резиновых профилей для формования полых рифтов предполагает как изготовление форм для каждого типа профиля, так и значительные затраты на сырье для изготовления профилей и энергоемкий процесс автоклавного формования;

– процесс раскрытия препрега и ручной выкладки весьма трудоемкий и значительно осложнен необходимостью изготовления большого количества заготовок накладок (на стенки диафрагм, рифты, полочки рифтов) и сложностью их фиксации на криволинейной форме с вертикальными стенками.

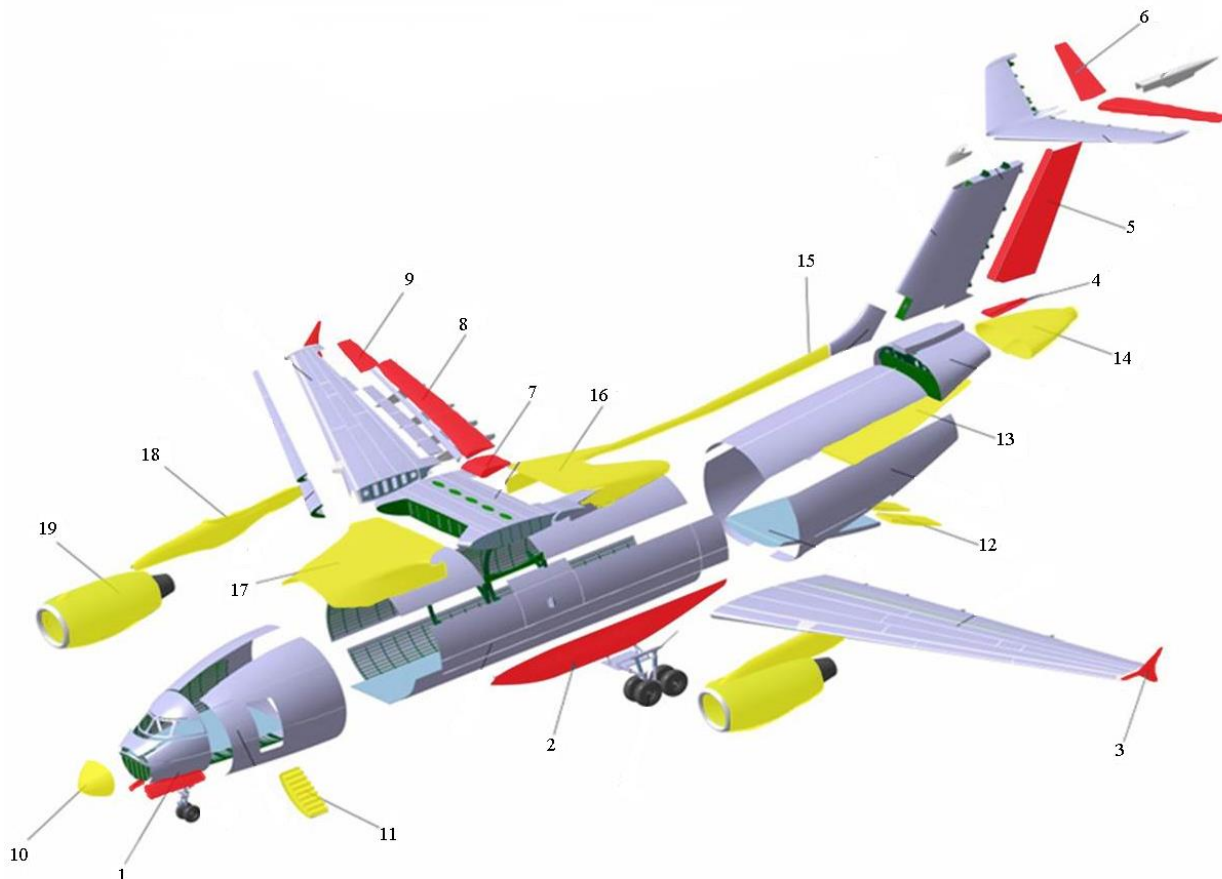


Рисунок 1 – Конструкции агрегатов из ПКМ на самолете Ан-178:
1 – 9 – агрегаты из углепластиков, 10 – 19 – агрегаты из стеклопластиков

Перечисленные выше сложности и недостатки являются особенно критичными для условий серийного производства.

В [5] отмечается, что в настоящее время необходимо рассматривать возможность использования сотовых конструкций, регулярного сечения во вновь проектируемых панелях из ПКМ обтекателей шасси для самолетов Ан-148 и Ан-158, что позволит:

- значительно снизить трудоемкость изготовления панелей;
- улучшить качество поверхности панелей;
- исключить из технологического цикла энергоемкие операции изготовления резиновых профилей;
- сократить операции по механической обработке деталей.

Следует отметить, что в настоящее время проектирование конструкций из ПКМ ведется исходя только из критерия весовой эффективности практически без учета критерия стоимости подготовки производ-

ства и стоимости материалов. Несомненно, что критерий весовой эффективности самолета является первостепенным в оценке совершенства воздушных судов (ВС) и его конкурентоспособности, а также увеличение доли применения ПКМ в конструкции его планера, и в первую очередь в высоконагруженных агрегатах, предопределяющих его несущую способность и ресурс [6].

Однако критерий стоимости также является важнейшим параметром проекта ВС и показателем его конкурентоспособности [7]. Более того этот критерий дополняет критерий весовой эффективности в аспекте совершенства ВС. Неучет роста производственной стоимости самолета особенно в период подготовки серийного производства может привести к существенному увеличению циклов подготовки производства (проектирования оснастки и ее изготовления), трудоемкости изготовления агрегатов и необходимости применения дорогостоящих материалов. Увеличение циклов изготовления оснастки происходит по причине большого объема фрезерных работ на станках с ЧПУ, для которых необходимы программы обработки, мастер-модели для полимерной оснастки, большое разнообразие применяемых материалов.

Качественно изготовить агрегаты такой сложности возможно только за счет высокой квалификации рабочего персонала. Исключается возможность автоматизации изготовления таких деталей, например, на выкладочных машинах, что является неприемлемым для серийного производства.

В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения более современных, универсальных технологических процессов, а также новых конструктивно-технологических решений в области проектирования и производства композитных деталей [5].

Одним из возможных путей совершенствования и сокращения цикла технологических процессов создания конструкций из ПКМ является внедрение безавтоклавных методов формования конструкций, которые получают все большее распространение благодаря своим преимуществам по сравнению с традиционными препреговыми технологиями (рис. 2) [5, 7].

Одним из множества технологических приемов безавтоклавного формования является технология RFI (resin film infusion), которая подразумевает использование безрастворных пленочных связующих (ПС) [8 – 11].

Эта технология получила широкое распространение благодаря комплексу преимуществ в сравнении с препреговым методом, среди которых можно отметить следующие:

- нет необходимости в использовании автоклавов, что ведет к уменьшению энергетических затрат;
- сокращение производственного цикла изготовления деталей за счет исключения процесса пропитки сухих армирующих материалов;

- более низкая стоимость пленочных связующих по сравнению с растворными связующими (снижение затрат более чем в 1,5 раза);
- уменьшение влияния вредных и опасных паров растворных эпоксидных и фенольных связующих на организм рабочего персонала;
- возможность использования пленочного связующего для широкого спектра армирующих наполнителей, в том числе плетеных армирующих заготовок высокой степени готовности [4].

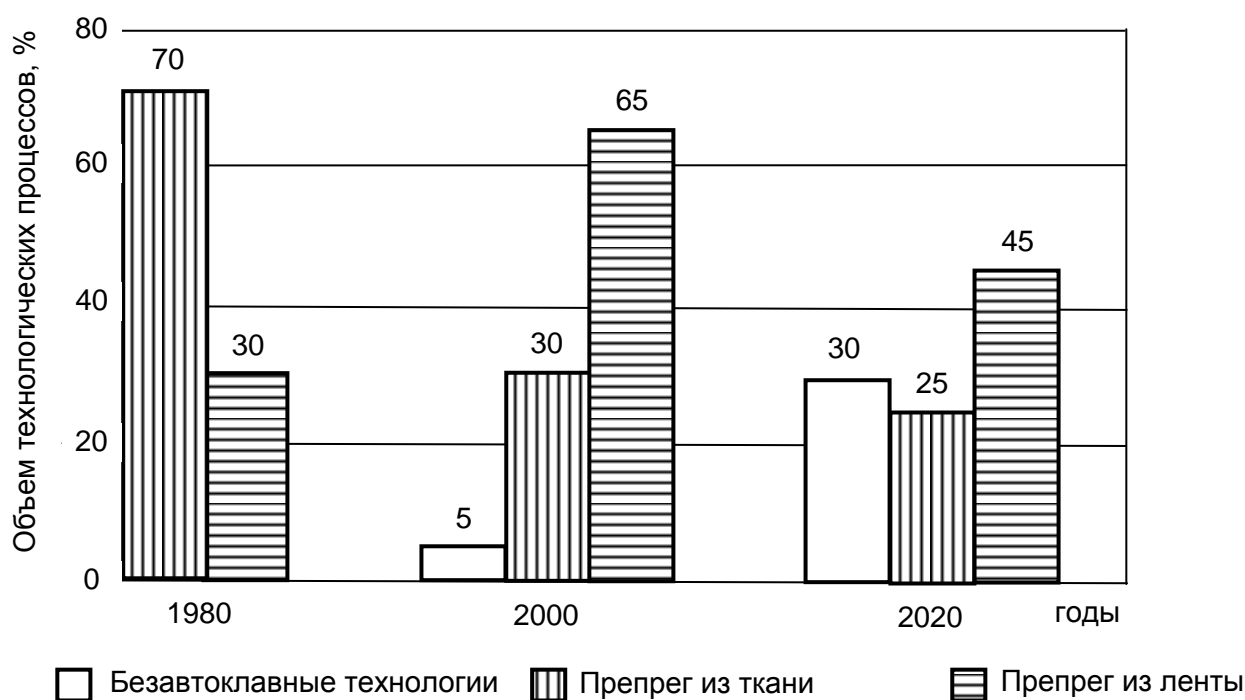


Рисунок 2 – Динамика роста безавтоклавных методов производства деталей из ПКМ (анализ зарубежных источников)

Технология RFI заключается в послойной выкладке сухих армирующих наполнителей ПС, взятого в определенном массовом соотношении. При нагревании, под воздействием вакуумного давления, происходит расплавление связующего и его просачивание в структуру армирующего наполнителя. Известно, что одной из самых больших конструкций, изготовленных по технологии RFI с применением ПС, является задняя створка грузолука самолета А-400М европейского концерна «AIRBUS», информация о которой приведена в [4].

Преимуществами ПС является также то, что в отличие от применяемых растворных связующих их можно использовать для изготовления монолитных и трехслойных конструкций, причем в трехслойных конструкциях ПС используются как для ламинации слоев армирующих наполнителей, так и в качестве пленочного клея в соединениях сотового наполнителя с обшивками.

Исследование технологических свойств ПС и прочностных характеристик ПКМ на их основе является актуальной задачей, в результате

решения которой определена область применения некоторых типов ПС в конструкциях самолетов с обеспечением требований, предъявляемых к применяемым в настоящее время паспортизованным материалам. Для проведения исследовательских работ использовались ПС производства чешской фирмы «5М». Одним из условий выбора ПС являлось их отверждение без автоклава с применением только вакуумного давления (табл. 2) [5].

Таблица 2 – Свойства пленочных связующих

Марка ПС	Плотность, г/см ³	Рекомендуемые параметры отверждения ПС			Краткая характеристика ПС
		$T_{отв}$, °С	$t_{отв}$, мин	$p_{отв}$, МПа	
LFX 023	1,19	120	60	0,075...0,09	Эпоксидное (базовое) ПС
LFX 054	1,15	120	60	0,075...0,09	ПС низкой вязкости для улучшенной пропитки волокон
LFX 056	1,35	120	60	0,075...0,09	ПС с обеспечением характеристики самозатухания согласно требованиям FAR 25.
LFX 162	1,28	120 или 80	60 или 240	0,075...0,09	«Ускоренная» модификация ПС LEX 023
LFX 062	1,19	120	45	0,075...0,09	Фенольное самозатухающее ПС.

Для изготовления монолитных панелей использовались стеклоткань Т-10-80 и комбинированная стеклоткань Т-42/1-76 как наиболее широко распространенные армирующие наполнители при изготовлении деталей из ПКМ. Образцы панелей изготавливались с различной комбинацией слоев армирующего наполнителя и пленочного связующего различных типов, которые приведены в таблице 2.

Количество слоев пленочного связующего для монолитных панелей определялось расчетным путем с условием обеспечения содержания связующего в пластике порядка 40% по массе.

Изготовленные панели прошли испытания на определение упругих, прочностных и физико-химических характеристик пластика с целью их сравнения с уже применяемыми паспортизованными материалами на основе растворных связующих.

В результате анализа проведенных исследований были определены типы ПС, которые более целесообразно применять при изготовлении конструкций, не несущих существенную силовую нагрузку (secondary structures), например, в конструкциях интерьеров, а также для изготовления полимерной оснастки из ПКМ.

Проведенный анализ прочностных свойств монолитных стеклопластиков показывает, что прочностные характеристики полученных образ-

цов имеют достаточно высокий уровень и достигают показателей паспортизованных материалов. [5].

Технологический процесс изготовления деталей с применением пленочных связующих очень простой, производителен и не требует специального оборудования и приспособлений. Кроме этого применение ПС:

– позволяет получить стабильное относительное содержание компонентов в пластике с достаточно высокой степенью наполнения, обеспечивая при этом беспористую герметичную структуру материала;

– обеспечивает получение пластиков с достаточно высокими прочностными характеристиками при оптимальном содержании компонентов.

Выводы

1. Созданные новые ВС и их модификации в последние 15 лет несмотря на сложные объективные условия свидетельствуют о том, что авиастроение Украины сохранило потенциал, обеспечивающий создание конкурентоспособных транспортных и пассажирских самолетов.

Однако для реализации проектов этих воздушных судов необходима разработка новых высокоэффективных КТР, в том числе использующих в агрегатах планера современные ПКМ, а также обеспечивающие их реализацию новые технологии.

2. Одним из эффективных, оправдавших себя в мировой практике путей, обеспечивающих снижение энергоемкости производства агрегатов ВС ТК из ПКМ является широкое использование безавтоклавных технологий их формования, в т.ч. технологии RFI (resin film infusion).

Список использованных источников

1. Конструкции из композиционных материалов в самолете Ан-148 [Текст] / Д.С. Кива, А.З. Двейрин, А.М. Баранников и др. // Композиционные материалы в промышленности: сб. материалов 27 междунар. науч.-практич. конф., Ялта 27 мая – 1 июня 2007 г. / Украинский информационный Центр «Наука. Техника. Технология». – Киев, 2007. – С. 121.

2. Кива, Д.С. Этапы становления и начала развернутого применения полимерных композиционных материалов в авиаконструкциях отечественного назначения [Текст] / Д.С. Кива // Авиационно-космическая техника и технология, 2014. – Вып. 6(113). – С. 5 – 16.

3. Создание агрегатов самолетов из композиционных материалов – новые подходы, интегральные решения [Текст] / В.Н. Король, А.З. Двейрин, Е.Т. Василевский и др. // Технологические системы: науч.-технич. журнал. – К.: УкрНИИАТ, №4/2011. – С. 32 – 35.

4. Андреев, А.В. Технология получения элементов конструкций из полимерных композиционных материалов с применением плетеной арматуры [Текст] / А.В. Андреев // Вопросы проектирования и производства

конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 1 (69).– Х., 2012. – С. 36 – 39.

5. Андреев, А.В. Технологические аспекты применения пленочных связующих при создании конструкций из полимерных композиционных материалов пассажирских и транспортных самолетов [Текст] / А.В. Андреев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (76).– Х., 2013. – С. 21 – 26.

6. Кривов, Г.А. Стоимость – важнейший параметр проекта гражданского самолета и показатель его конкурентоспособности [Текст] / Г.А. Кривов // Технологические системы: науч.-технич. журнал. – К.: УкрНИИАТ, №5/2009. – С. 22 – 36.

7. Гвоздев, М.А. Прогнозирование технически возможного объема внедрения полимерных композиционных материалов в конструкциях самолетов [Текст] / М.А. Гвоздев, А.В. Кондратьев // Технологические системы: науч.-технич. журнал. – К.: УкрНИИАТ, №1(74)/2016. – С. 7 – 13.

8. Jose Manuel Luna Dias Composites: 30 years of continued R&D as the driving force behind aero structures progress / SAMPE EUROPE 33th International Conference and Forum – Keynote 1, pp. 2 – 41.

9. Кривов, Г.А. Технология безавтоклавного формования силовых конструкций планера самолета из композиционных материалов [Текст] / Г.А. Кривов, Ю.М. Тарасов, А.Г. Громашев, В.Ф. Забашта и др. // Технологические системы: науч.-технич. журнал. – К.:УкрНИИАТ, №5/2009. – С. 47 – 70.

10. Андреев, А.В. Современные конструктивно-технологические решения агрегатов авиаконструкций из полимерных композиционных материалов и их реализация на предприятии Stelia Aerospace [Текст] / А.В. Андреев, Я.О. Головченко, А.А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (84).– Х., 2015. – С. 95 – 104.

11. Коцюба, А.А. Новые конструктивно-технологические решения соединений композитных изделий в практике ГП «Антонов» [Текст] / А.А. Коцюба, А.З. Двейрин, Я.О. Головченко // Технологические системы: науч.-технич. журнал. – К.: УкрНИИАТ, №1(74)/2016. – С. 19 – 26.

Поступила в редакцию 25.04.2016.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*