

УДК 629.7.02

Д. С. КИВА

Государственное предприятие «Антонов», Киев, Украина

ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ И НАЧАЛА РАЗВЕРНУТОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ПАССАЖИРСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ САМОЛЕТОВ (1970 – 1995 гг.)

Проанализировано состояние применения полимерных композиционных материалов в отечественных и зарубежных пассажирских и транспортных самолетах на начальном этапе замещения ими металлических деталей и агрегатов и последующих стадиях их расширяющегося внедрения в отечественных конструкциях данного класса. Вскрыты преимущества полимерных композитов в специфической для рассматриваемого класса самолетов сфере применения, дан анализ рациональных типовых конструктивно-технологических решений. Рассмотрены проблемы и перспективы применения полимерных композиционных материалов в авиастроении Украины.

Ключевые слова: пассажирские и транспортные самолеты, полимерные композиционные материалы, конструктивно-технологические решения, эффективность применения.

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в авиастроении наиболее развитых стран началось в 40-х годах прошлого столетия. Впервые стеклопластики раннего поколения были эпизодически использованы для изготовления радиопрозрачных обтекателей для военных самолетов [1 – 2]. Затем к концу 60-х – началу 70-х годов применение стеклопластиков на основе тканых наполнителей и эпоксидных смол расширилось не только на изготовление малоответственных деталей, но и на элементы и агрегаты ряда несущих конструкций небольших летательных аппаратов (ЛА) и двигателей [3 – 4].

Например, в легком четырехместном самолете «Уиндер Игл» с полетной массой 1500 кг практически вся конструкция – фюзеляж, крыло и хвостовое оперение выполнены из стеклопластика [5]. Но именно начало эры применения высокоэффективных ПКМ (угле- и боропластиков), а вместе с ними более широкое применение усовершенствованных стекло- и органопластиков авиационные специалисты относят к 1970 г. [5 – 9] (рис. 1 [10], рис. 2 [11]).

Условная разбивка направлений начального и активного применения ПКМ по десятилетним этапам первого периода приведена в табл. 1.

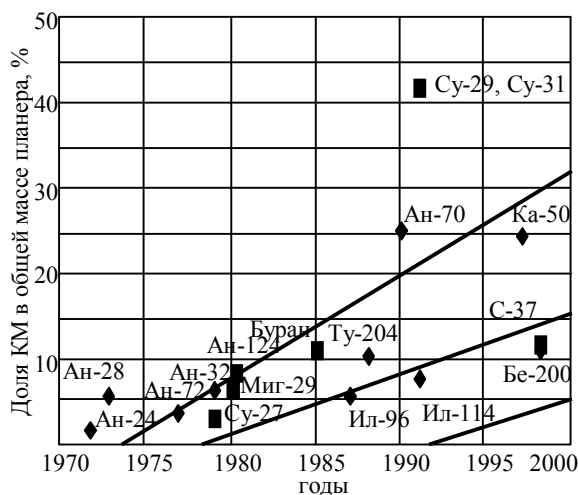


Рис. 1. Применение ПКМ в отечественных самолетах [10]

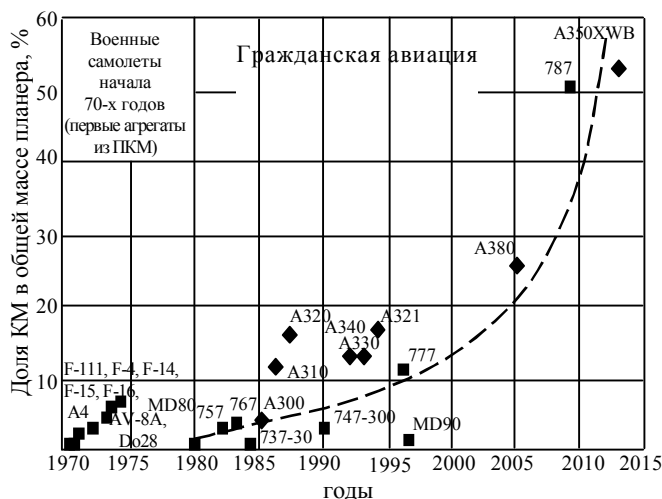


Рис. 2. Применение ПКМ в зарубежной авиационной технике (--- эволюционная кривая применения) [11]

Таблица 1
Хронологические этапы применения ПКМ
в авиастроении

Этапы	Укрупненное содержание этапа
1. (1970-1980 г.)	Накопление опыта проектирования, технологии изготовления и эксплуатации конструкций из ПКМ. Применение в военной и начало применения в транспортной авиации.
2. (1981-1990 г.)	Применение в конструкциях военной и транспортной авиации, вертолетах, начало применения в пассажирских самолетах.
3. (1991-1995 г.)	Расширение объема применения в военной, транспортной и пассажирской авиации, вертолетах, спортивных самолетах.

На первом этапе объемы использования ПКМ в аэрокосмической технике были несопоставимы с традиционно применяемыми авиационными металлическими материалами и ограничивались, в основном, малонагруженными элементами, агрегатами и узлами самолетов. Но одновременно в те годы в ведущих странах, в первую очередь в США, а также во Франции, в СССР характерным было инвестирование весьма значительных средств на разработку ПКМ, проектирование и изготовление композитных изделий, создание экспериментальных лабораторий, высокотехнологического оборудования для механизации и автоматизации работ, на подготовку кадров и др. [12 – 13]. Все это способствовало ускоренному применению ПКМ в авиастроении вместо металлических сплавов.

При этом решался ряд первоочередных задач:

- изучение свойств новых используемых ПКМ, после чего производился более или менее точный расчет разрабатываемых конструкций ЛА;

- обеспечение продолжительного жизненного цикла изделия из ПКМ с одновременным достижением стабильности их технических характеристик, а также физико-механических свойств ПКМ (прочности, жесткости, сопротивления перегреву и аэродинамической эрозии и др.);

- обеспечение простоты изготовления с целью снижения стоимости производства элементов конструкций в целом.

Первой конструкцией из ПКМ был горизонтальный стабилизатор для самолета F-14a (США) [1]. Конструкция стабилизатора 2,5х2,5м трапециевидной формы состояла из сотового наполнителя и обшивки из эпоксидно-бороволокнистого пластика.

При разработке предкрылка для самолета С-5А (США) и отказе от использования существующей конструкции из алюминия была создана конструкция этой детали целиком из боропластика.

Такая конструкция обеспечила снижение массы на 22%, а число элементов уменьшилось до 79 (по

сравнению с 800 деталями при использовании алюминиевых панелей, не считая ребер жесткости).

Одним из первых примеров применения боропластика является также экспериментальный предкрылок самолета Боинг-707 и установленный в 1971 г. на самолете Боинг-737 экспериментальный перехватчик, изготовленный из углепластика. Достигнутая экономия массы обшивок составила 24%. В течение 3-х лет на трех самолетах С-130 проходила проверка боропластик, примененный для подкрепления обшивки и стрингеров центроплана. Цель работ – корреляция результатов ускоренных испытаний образцов с реальным временным циклом воздействия окружающей среды [14].

Отдельным направлением применения композитов в начале 70-х годов явился разработанный в NASA метод, известный под названием «местное упрочнение» [1, 5, 15, 16]. Идея метода состояла в том, что конструктор, исходя из соображений максимального момента сопротивления, размещает высокопрочные или высококомодульные материалы в наиболее эффективном месте – на максимальном удалении от нейтральной оси. Типовой пример этого применения – конструкция лонжеронов из ПКМ самолета В-1 (рис. 3) и горизонтального стабилизатора самолета DC-8.

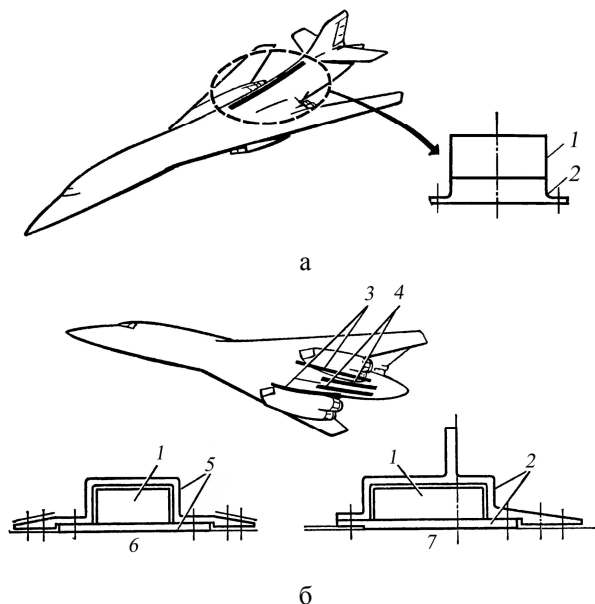


Рис. 3. Конструкции лонжеронов из ПКМ самолета В-1 [5]: а – надфюзеляжный лонжерон; б – нижний лонжерон;

1 – эпоксидоропластик; 2 – сталь; 3 – нижний внешний лонжерон; 4 – нижний внутренний лонжерон; 5 – титан; 6 – типовой нижний внутренний лонжерон; 7 – типовой нижний внешний лонжерон

При проектировании лонжерона определяющим фактором служила аэродинамическая жесткость, а не прочность. По удельной жесткости одно-

направленный боропластик превосходит все существующие материалы. На рис. 3 показана конфигурация надфюзеляжного нижнего внутреннего и нижнего наружного лонжеронов. Они обеспечивают экономию массы 44,28% и 29% соответственно [5]. Снижение массы есть результат замены части металла, необходимой для достижения заданных характеристик, на боропластик. Металлический элемент обеспечивает требуемую прочность при расчетных нагрузках, а боропластик создает необходимую жесткость.

Изготовление следующих элементов конструкции из ПКМ для самолета В-1 позволило снизить их массу на заметном и даже высоком уровне: кессона киля – на 14,5%; кессона горизонтального оперения – на 14,3%; закрылка – на 15%; предкрылка – на 15%; створок отсека вооружения – на 15%; крышки люка радиооборудования – на 12%.

К 1973 г. в конструкции самолета короткого взлёта и посадки Dornier Do28 использовалось большое количество композитных деталей и узлов: обтекатели законцовок фюзеляжа, мотогондола, двери кабины экипажа, зализы мест стыковки крыла с фюзеляжем и др.

Применение композитов в авиации показало отличные эксплуатационные характеристики изделий из них, причем изменение ресурса самолета в случае использования ПКМ в его конструкции не обнаружено. При этом неудачное использование некоторых деталей из ПКМ и возврат их на ремонт свидетельствовало косвенным образом о некоторых преимуществах ПКМ, связанных с возможностью ремонта деталей [1]. Уже на первом этапе разработка новых ПКМ и технологии их изготовления привела к снижению первоначально высокой стоимости деталей из композитов для авиационного строения.

Хотя вначале указанные выше перспективные ПКМ были разработаны и использованы для военных самолетов, тем не менее, и в гражданской авиации проводились работы по их применению, несмотря на высокую стоимость этих материалов и невысокий на это время уровень технологии. При этом первый опыт показал, что наиболее рациональные идеи конструирования и изготовления изделий из ПКМ, обеспечивающие максимальное использование предоставляемых ими потенциальных возможностей в отношении снижения массы и стоимости, должны реализовываться, начиная с ранних стадий разработки проекта, опираясь на современную технологическую базу.

Типовыми элементами конструкций из ПКМ в коммерческой авиации к концу 70-х годов являлись [14, 17]:

- 1,а. Силовая панель пола:
 - эпоксистерклопластик/алюминий;

- базальтовый наполнитель.

- 1,б. Балка силового пола:

- эпоксиглепластик;
- прошитая преформа + RTM-метод.

2. Трубопровод системы кондиционирования воздуха (СКВ):

- углепластик на основе бисмалеинового связующего.

3. Курсовой радиомаяк:

- эпоксистерклопластик.

4. S-трубопровод трехслойной конструкции:

- эпоксиглепластик;
- сотовый полимерный наполнитель Nomex.

5. Гондола двигателя трехслойной конструкции:

- эпоксиглепластик;
- алюминиевый сотовый наполнитель.

6. Канал электрогенерирующей системы:

- эпоксистерклопластик.

7. Носовой наплыв (противообледенительная система (ПОС)):

- эпоксистерклопластик.

8. Носовой элемент электрогенерирующей системы:

- эпоксистерклопластик.

В основном это малонагруженные конструкции. Для средненагруженных конструкций в 1975 г. фирма Lockheed (США) совместно с NASA разработала конструкцию элерона из ПКМ пассажирских и транспортных самолетов. Он состоит из переднего и заднего лонжеронов, двух концевых и трех промежуточных нервюр и клееных сотовых панелей. При изготовлении использовались угле- и органопластики, что обеспечило снижение массы на 28% и снижение его стоимости на 20% при партии 200 самолетов.

Работы по применению ПКМ, проводимые в те же годы в СССР, сопровождались научно-технической поддержкой [11, 12, 17, 19, 21, 22]. Выделялись громадные ресурсы на исследования и разработку многообразных научных прикладных проблем, связанных с созданием и применением ПКМ и были выполнены большие объемы работ. Так в конце 60-х – начале 70-х годов под эгидой научных советов Академии наук СССР проводились работы по конструкционным материалам для новой техники, по синтетическим материалам, по механике конструкций из композиционных материалов. Ежегодно проводились всесоюзные конференции по различным аспектам проблемы разработки и применения композиционных материалов. Формировались собственные оригинальные научные школы и направления.

Постановлением Совета Министров СССР №390-137 от 03.06.1970г. на АНТК им. О. К. Анто-

нова были возложены обязанности ведущей организации отрасли по разработке элементов конструкций и деталей транспортных и пассажирских самолетов с применением композиционных материалов. Поставленная задача выполнялась совместно с отраслевыми институтами ВИАМ, ЦАГИ, НИАТ, УкрНИАТ, а также с ХАИ, институтами НАНУ (материаловедения и проблем прочности).

В ведущих ОКБ авиационной и космической техники с начала 70-х годов прошлого столетия под руководством Генеральных конструкторов, академиков и профессоров А. Н Туполева, О. К. Антонова, С. В. Михеева, В. П. Макеева, В. М. Мясичева, Г. В. Новожилова, П. О. Сухого, Г. Е. Лозина-Лозинского и др. были организованы специализированные подразделения, в задачу которых входили прикладные исследования по разработке методов эффективного использования различных КМ, и наиболее широко – ПКМ, в проектируемых конструкциях.

В АНТК им. О. К. Антонова таким первым подразделением, широко известным в отрасли, стал научно-исследовательский отдел по ПКМ. Совместно с этим отделом, автономно входя в его структуру, с 1971 года работала и представительная научно-исследовательская лаборатория УкрНИАТ [23].

В 1995 - 1996 гг. многим сотрудникам АНТК «Антонов», ХАИ, УкрНИАТ и других институтов

была присуждена Государственная премия Украины.

Успехи АНТК «Антонов» в области применения ПКМ в несилowych, средненагруженных и силовых агрегатах самолетов добавили уверенности другим фирмам и корпорациям и побудили их ускорить работы в указанном направлении, чтобы наверстать отставание. Первыми самолетами, в конструкции которых были заметно использованы ПКМ, были Ан-28, Ан-72, Ан-124 (табл. 2).

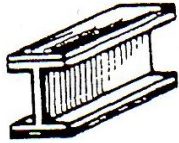



Таблица 2
Объемы применения ПКМ в самолетах АНТК «Антонов»

Показатель	Самолеты		
	Ан-28 (1978 г.)	Ан-72 (1980 г.)	Ан-124 (1982 г.)
Конструкции из ПКМ:			
количество, шт.	140	430	1100
площадь, м ²	100	250	1500
масса, кг	180	350	5500
Снижение массы самолета, кг	40	350	более 2000

Некоторые конструктивно-технологические решения приведены в [6, 23 – 26] и, как пример, в таблице 3.

Таблица 3

Типовые конструктивно-технологические решения

Тип конструкции	Схема конструкции	Тип ПКМ	Типовое применение	Примеры применения
Комбинированная (местное упрочнение)		Углепластик	Высоконагруженные балочные конструкции	Балки гермопола и грузового пола
Балочная			Высоконагруженные панели	Створки главных ног шасси
		Средненагруженные съемные панели большой жесткости	Створки шасси, грузолока, съемные панели заливов	
Трех-слойная	Сотовая	Органо-пластик	Средненагруженные, крупногабаритные панели	Панели обтекателя шасси
	Трубчатая	Стекло-пластик	Вибропрочные оболочки и панели	Воздухо-заборники, капоты двигателей и обтекателей
Трех и пяти-слойная		Углепластик	Средненагруженные жесткие и длинные панели	Панели крыла
			Ячеистая	Радиопрозрачные оболочки
Каркасная		Стекло-пластик	Средненагруженные оболочки сложной формы с многочисленными вырезами	Панели заливов, обтекателей, гребней

Успеху АНТК «Антонов» в указанной деятельности по ПКМ способствовал введенный в 1977 г. в эксплуатацию корпус площадью около 5000 м² с участками для приготовления связующих и препрегов, углепластиковых, стекло- и органопластиковых изделий и сотовых конструкций, автоклавное отделение, участки механической обработки, технологической оснастки, комплекс лабораторий по различным видам испытаний и др.

При создании самого большого по грузоподъемности (150 т) в мире транспортного широкофюзеляжного самолета Ан-124 «Руслан» в его конструкции было использовано рекордное количество деталей, узлов и агрегатов из ПКМ общей массой 5500 кг, в том числе из угле- и боропластиков – массой 2500 кг (2100 штук). Площадь обшивок имела 650 м², а наибольшие размеры конструкций 2,1x12,7м. Масса органо- и стеклопластиков составила 3000 кг. Снижение массы самолета при этом достигло примерно 2000 кг.

К типовым конструкциям относятся: обшивки гладкие и подкрепленные стрингерами; цельнокоробчатые обшивки; профили; окантовки; балки грузового пола, усиленные накладками из углепластика; балки пассажирской кабины, усиленные накладками из боропластика; трубчатые конструкции (подкосы, тяги), цилиндры уборки и выпуска шасси, подкрепленные оболочкой из боропластика и др.

Большая часть узлов из ПКМ (панели хвостовой части крыла, бустерные панели киля, стабилизатора, створки основного шасси, крышки люков, створки грузолука, обтекатели механизма закрылка) представляют собой трехслойную конструкцию.

Область применения клееных сотовых панелей и узлов охватывает все основные агрегаты планера изделия и включает: элементы конструкции фюзеляжа, систем, интерьера, крыла и оперения, образующие преимущественно наружный (теоретический) контур изделия.

В конструкции планера и в интерьере среднего магистрального самолета Ту-204 объем применения ПКМ достиг 3900 кг (табл. 4) или 14% от его массы [10, 27].

В конструкции дальнего магистрального широкофюзеляжного самолета Ил-96-300 применение ПКМ составило 1650 кг, что позволило уменьшить его массу на 520 кг.

В конструкции планера Ил-96 из ПКМ были выполнены следующие агрегаты: тормозные щитки, интерцепторы, элероны, носовые части закрылков, обтекатели рельсов закрылков, при этом агрегаты механизации крыла представляют собой сотовые панели клиновидной формы.

Обшивки и элементы каркаса (лонжерон и нервюры) формируются отдельно, затем склеиваются с

сотовым наполнителем.

Таблица 4

Применение ПКМ в конструкции самолета Ту-204 [28]

№ п/п	Наименование агрегата	Площадь поверхности конструкции из ПКМ в плане, м ²	Масса конструкции из ПКМ, кг
Планер			
1	Агрегаты механизации крыла	40	660
2	Пилон	1,5	36
3	Мотогондола (носовая часть, створка)	12	221
4	ВЗК	4	10
5	Створка шасси	16	184
6	Зализ крыла	12	187
7	Агрегаты оперения:		
	киль + Р.Н.	55	232
	стабилизатор	25	544
8	Обтекатель носовой	3	34
9	Створки ВСУ	4,2	26
Интерьер			
10	Сотовые панели	10	32
11	Панели пола	113,7	746
12	Монолитные детали	-	498
	Прочие	-	490
	Итого:	296,4	3900

Материал обшивок и элементов каркаса – гибридный (сочетание углепластика со слоями органо-пластика и стеклопластика). Слои органо-пластика расположены равномерно по толщине обшивок ($\approx 25\%$ слоев органо-пластика от общего количества слоев), что обеспечивает более высокую трещиностойкость гибридных конструкций по сравнению с чисто углепластиковыми.

В ОКБ авиационной отрасли в 70-х годах, в первую очередь в ОКБ им. О. К. Антонова, были разработаны системы мониторинга состояния композитных элементов конструкций, установленных на эксплуатируемых самолетах, начиная с самых первых образцов. Полученные данные анализировались и способствовали дальнейшему совершенствованию КТР. Позже мониторинговые подразделения по композитным конструкциям были созданы и на других предприятиях отрасли.

К примеру, на ОАО ВАСО (г. Воронеж) производилось изучение состояния агрегатов из ПКМ в

эксплуатации после 12000 часов налета. Сервисное обслуживание и слежение за состоянием агрегатов из ПКМ в эксплуатации показало, что применение ПКМ на самолетах Ил-96 полностью себя оправдало и дало основу для дальнейшего расширения области применения ПКМ в конструкции планера и интерьера самолетов Ил-96 [29]. Все это обеспечило увеличение доверия к ПКМ разработчиков изделий авиационной техники.

Одновременно было отмечено, что конструкции из ПКМ имеют ряд недостатков, к которым относится электрохимическая коррозия, возникающая при контакте углепластика с металлическими деталями, из алюминиевых сплавов и малоуглеродистой стали. По этой причине механический крепеж в углепластиковых конструкциях был рекомендован из нержавеющей стали или из титановых сплавов. Была установлена также необходимость применения прокладок из стеклопластика для изоляции контактных поверхностей из углепластиков и алюминиевых сплавов. Недостаточная эрозионная стойкость углепластиков компенсировалась путем напрессовки на внешнюю поверхность элементов конструкций тонких органотканей.

К другим недостаткам ПКМ относилась необходимость внешнего экранирования радиоэлектронного оборудования, защиты от грозовых электроразрядов из-за их плохой электропроводности.

В результате, уже в 80-х годах прошлого столетия накопленный опыт применения ПКМ позволил обеспечить заметное снижение массы ЛА, тем самым улучшив их тактико-технические данные.

В 1981 г. NASA (США) разработало программу по исследованию крупногабаритных конструкций из углепластиков применительно к пассажирским самолетам [15]. В рамках этой программы вначале исследовались силовые конструкции средних размеров, для чего фирма Boeing изготовила кессон стабилизатора самолета B-737, фирма Lockheed – кили самолета L-1011, и фирма McDonnell Douglas – киль самолета DC-10. Снижение массы для указанных агрегатов из ПКМ оценивалось соответственно в 30 и 22%.

На то время большой объем ПКМ применила фирма Lockheed в самолете L-1011 Tristar [30], что обеспечило снижение массы планера на 365 кг. Применение ПКМ позволило снизить не только массу, но и количество узлов и деталей. Например, 72 металлические детали двери самолета заменены тремя деталями из ПКМ. Для этого самолета фирма построила из ПКМ экспериментальный кессон килля. Киль имеет высоту 7,6 м, размеры по хорде 2,2-2,7 м и площадь 14 м². Масса кессона из ПКМ на 25% меньше, чем металлического, число конструктивных элементов уменьшено с 175 до 18, а число клеевых соединений уменьшено с 41000 до 6700.

Позже фирма создала элероны и стабилизатор самолета L-1011 и провела летные испытания. Элероны из ПКМ на 29,5 кг легче металлических, что обеспечило экономию массы 23%. Количество деталей сократилось с 18 до 10, а количество крепежных элементов наполовину, что обеспечило снижение стоимости изготовления. Стабилизатор самолета на то время представлял собой одну из самых больших авиационных конструкций из ПКМ. Его масса равна 290 кг, что на 27% меньше массы металлического стабилизатора.

В 1977-1984 годах был отмечен рост применения ПКМ в конструкциях вертолетов [31, 33, 34]. В [31] приведен ретроспективный обзор разработки ПКМ и их применения в вертолетостроении в США. Основными материалами явились стекло- и органо-пластики.

К 1986 г. успешное применение ПКМ было отмечено на самолетах Starship, Lear Fan 2000, Avtek 400, Voyager, B 767, B 757, на вертолетах фирмы Westland и др. [9, 32, 34]. Легкие транспортные самолеты Lear Fan 2000, Avtek 400, Starship уже к 1987 г. были практически полностью изготовлены из ПКМ.

Так, в конструкции административного самолета Lear Fan 2000 из углепластика были изготовлены фюзеляж, крыло, рули направления и высоты, элероны, закрылки, а винт – из органо-пластиков с накладкой по передней кромке из нержавеющей стали [35]. Около 70% конструкций самолета Avtek 400 были выполнены в виде сложных конструкций с сотовым наполнителем «Nomex» и обшивками из органо-пластиков. Avtek 400 на то время явился одним из самых экономичных транспортных самолетов, известных на мировом рынке.

Ведущее место среди западноевропейских фирм к началу 80-х годов занимали SEP, SNPE, Dassault Brequet. В конструкциях европейских широкофюзеляжных самолетов-аэробусов A-300, A-310, A-320 из ПКМ было изготовлено 5% деталей. Применение ПКМ обеспечило снижение массы самолета A-310 на 1100 кг (рис. 4).

Доля ПКМ в самолете A-320 составила 22,5%. Аналогично в пассажирском самолете A-340 из ПКМ были изготовлены закрылки, интерцепторы, воздушные тормозные щитки, оперение, обтекатели и зализы. В то же время следует отметить, что в конце 70-х – начале 80-х гг. корпорация Boeing несколько уступала западноевропейским фирмам и АНТК «Антонов» в объемах применения высокоэффективных ПКМ.

Так, в работе [17] дан обзор состояния на 1988 г. и перспектив применения ПКМ в самолетах фирмы Boeing.



Рис. 4. Применение ПКМ на самолете А-310 [32]:
а – самолет в целом; б – пол; в – киль (УП – углепластик, КП – кевларопластик, СП – стеклопластик)

При этом широкое использование ПКМ началось именно со стеклопластиков на самолете В 747, из них изготовлено свыше 900 м² (25%) омываемой поверхности этой машины. Силовой конструкцией из ПКМ, впервые сертифицированной в 1984 г. для эксплуатации в гражданской авиации, был стабилизатор самолета В 737-200. Применение ПКМ снизило его массу на 22%. В то же время на самолетах В 767, В 757, В 737-300 были уже в основном использованы углепластики. На В 767 и В 757 объем использования ПКМ составлял примерно 3% от массы конструкции самолета, при этом 1500 кг ПКМ привели к снижению массы более чем на 560 кг или на 25%. Но в последующем варианте самолета В767 общий объем применения композитов 1550 кг, а общее снижение массы конструкции достигло 1000 кг, из которых 426 кг сэкономлено за счет применения углепластиков, 246 кг – за счет ПКМ с использованием гибридного органоуглепластика и 249 кг – за счет использования кевларопластика. Из ПКМ в самолете изготовлены передние и задние кромки крыла, законцовки, рули направления и высоты, интерцепторы, створки ниши основ-

ных шасси, створки мотогондолы, обтекатели, люки, полы в пассажирском салоне и др.

Рули направления для самолета В767 изготавливала фирма Airitalia. Они имеют габариты 2,4x10,4 м и представляют собой двухлонжеронную конструкцию с сотовым наполнителем. На это время этот руль направления являлся одной из крупнейших конструкций, выполненных из углепластиков. При этом необходимо отметить, что В 767 – это первый гражданский самолет фирмы Boeing, который с самого начала проектировался с учетом применения ПКМ.

К 1987-1988 годам доля ПКМ в конструкциях транспортных самолетов в среднем достигла 15-20%. И если в начале 70-х годов в СССР наблюдалось некоторое отставание в указанной области, то к 1977-1988 годам это отставание было практически преодолено, а ряд ОКБ, в первую очередь АНТК им. О. К. Антонова, вышли на передовые рубежи в мире. Безусловно, лидером здесь является средний транспортный самолет Ан-70. Успешный выход на указанный уровень был обеспечен предшествующими работами по самолетам Ан-28, Ан-72, Ан-124 и др. Для

сравнения к 1990 г. доля ПКМ в конструкциях зарубежных транспортных самолетов составляла: ATR 42 – 15,6%, A 320 – 22,5%, ATR 72 – 22,6% [16].

В конструкции самолета Ан-70 объем применения ПКМ составляет более 20%. Здесь ПКМ применяются во всех агрегатах изделия: крыле (716 наименований), фюзеляже (325 наименований), оперении (777 наименований), силовых установках (74 наименования), а также в интерьере, оборудовании и системах (545 наименований).

В крыле этого самолета ПКМ применяются в панелях носовой и хвостовой части, в балках хвостовых частей отъёмной части крыла, в закрылках, элеронах и интерцепторах, теплозащитных экранах и др. В фюзеляже самолета из ПКМ изготавливаются зализы крыла, обтекатели шасси, створки основного и носового шасси, средняя хвостовая и боковые створки грузолука, гермостворка, рампа, радиопрозрачные обтекатели, распределительные балки грузового пола, зализы, кожухи, облицовки, диафрагмы и др. В оперении – каркасы кессонов кия и стабилизатора, рули направления и высоты, зализы вертикального и горизонтального оперения и др. В силовых установках из ПКМ изготавливаются панели капотов, обтекатели редукторов, окантовки, обтекатели мотогондол. В интерьере, оборудовании и системах из ПКМ изготавливаются перегородки, панели потолка, облицовки, трубопроводы и короба ПОС и СКВ.

Таким образом, к 90-м годам прошлого столетия объемы применения ПКМ в авиационной технике на Западе и в СССР были сопоставимы и даже близки. После распада СССР начался этап стагнации в авиационной промышленности стран СНГ, наиболее ярко это проявилось в России и Украине – объемы производства от ранее достигнутых в 90-е годы сократилось в десять и более раз. Основной причиной этого явилось сокращение финансирования научно-исследовательских работ.

В то же время передовые страны, начиная с 90-х годов и до сегодняшнего времени, продолжают наращивать темпы работ по расширению исследо-

ваний ПКМ. Мировые тенденции нарастающего применения в авиастроении ПКМ за период 1970 – 2010 годы схематично приведены на рисунке 5. На нем, с определенной степенью условности, выделены два характерных периода, каждый, примерно, по 20 лет, а именно: 1970-1990 гг. и 1990-2010 гг.

Например, серийному производству фюзеляжа самолета Boeing 787 из углепластика в 2008-2010 годах предшествовало целое десятилетие поисковых экспериментальных и опытно-конструкторских работ по многочисленным программам создания фюзеляжа большого самолета из ПКМ. На рисунке 5 видно, что если до 1990 г. объемы использования ПКМ в СССР, а также в странах Запада достигли в среднем уровня 15-20 %, то в последующие годы этот уровень в Украине и России так и остался практически «замороженным», поскольку отсутствовали новые весомые конструкторско-технологические заделы, в то время как сегодняшние лидеры мирового авиастроения резко пошли вперед, опираясь на результаты проведенных многочисленных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области ПКМ, а также в области современных технологий.

Очевидно, что успехи в применении ПКМ не имели бы места без соответствующего уровня технологичности конструкций и подготовки производства, без разработки новых технологических процессов, создания крупногабаритной формовочной оснастки, без разработки специального технологического оборудования, учитывающего специфику получения и переработки ПКМ, а также обеспечившего механизацию и автоматизацию технологических операций [8, 16, 18, 23, 26, 27, 36 – 49].

В авиастроительной отрасли Украины были освоены процессы ручной и частично механизированной выкладки крупногабаритных конструкций, автоматизированной их намотки, пултрузии, автоклавного и термокомпрессионного формования; изготовление трехслойных, в том числе клееных сотовых панелей, а также монолитных интегральных

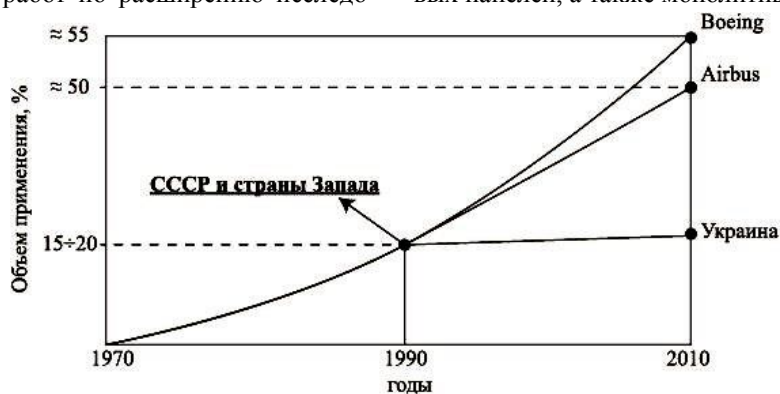


Рис. 5. Мировые тенденции объемов применения ПКМ в транспортном и пассажирском самолетостроении (усредненные данные)

конструкций, заклепочных и болтовых соединений, клеємеханической сборки, узлов и агрегатов, неразрушающего контроля и т.п. [10, 22, 49 – 55].

В таблице 5, на основе опыта изготовления конструкций из ПКМ в первую очередь в АНТК «Антонов», приведены типовые этапы развития технологий производства изделий из ПКМ, оборудования и средств механизации.

Выводы

1. Из приведенного краткого исторического обзора следует, что за сравнительно короткое время в СССР и странах Запада были достигнуты заметные успехи в области применения перспективных ПКМ в авиационной технике. В рамках рассмотренного периода в СССР и странах Запада характерным было инвестирование громадных средств на разработку ПКМ с высокоэффективными армирующими

наполнителями, проектирование и изготовление изделий из ПКМ, создание нового оборудования для механизации и автоматизации работ, подготовку кадров и др.

2. Попытки использовать ПКМ простой заменой металлов, имели ограниченный эффект, не давая возможности полностью раскрыть специфику и достоинства ПКМ [5, 30 и др.].

3. Установлено, что, несмотря на достигнутые весомые объемы применения ПКМ в транспортных и пассажирских самолетах в районе 20%, а также на высокие показатели экономии массы, жесткости, долговечности, резкого повышения коррозионной стойкости, снижения трудоемкости изготовления, существуют резервы дальнейшего значительного совершенствования этих важнейших характеристик, что и было подтверждено на последующем этапе освоения ПКМ в пассажирском и транспортном самолетостроении.

Таблица 5

Хронологические этапы развития технологии производства изделий из ПКМ, оборудования и средств механизации в 1971-1995 гг.

Этапы	Содержание работ	Внедренное оборудование и механизированные устройства
1971-1975 гг.	Накопление опыта, переработка и испытание новых ПКМ, отработка технологичности конструкций, освоение технологии производства и созданного экспериментального оборудования	Экспериментальное оборудование: - для пропитки тканых лент; - для намотки однонаправленных лент; - электрический и паровой автоклавы
1975-1978 гг.	Разработка и внедрение технологических процессов и оснастки для производства конструкций из ПКМ и внедрение их в новых самолетах Ан-28, Ан-72 и др.	Станки: - для резки деталей из КМ; - РФП-4 для фрезерования сотового заполнителя; - НК-10 ПУ для механизированной намотки; - установки: УЛК-1, УЛС-2М для изготовления лент.
1979-1985 гг.	Исследование по разработке конструкций, технологических процессов, оснастки для производства крупногабаритных интегральных конструкций изделий из ПКМ.	Установки: УПСТ-300, УПСТ-1000 для автоматизированной пропитки тканей и тканых лент. Экспериментальное оборудование: - для механизированного изготовления трубчатого, гофрированного и сотового заполнителей; - для пропитки и изготовления лент.
1985-1995 гг.	Разработка конструкций, технологических процессов и внедрение в производство конструкций из ПКМ самолетов Ан-70 и Ан-140. Разработка методов и средств для создания промышленных механизированных технологий изготовления сложных крупногабаритных интегральных агрегатов из ПКМ.	Автоклавы «Шольц» 3x8, 4,5x16 м – автоматизированное формование. НК-2,5-12, НЛ-3А – автоматизированная намотка крупногабаритных конструкций. Реакторы для механизированного приготовления связующего. Аппаратура для неразрушающего контроля и контрольно-измерительные машины. Установка для получения синпрегового заполнителя. Пултрузионные установки для получения профилей.

4. Практика подтвердила, что рациональные идеи конструирования и изготовления конструкций из ПКМ, обеспечивающие максимальное использование представляемых ими возможностей в отношении массы и стоимости, должны реализовываться, начиная с самых ранних стадий разработки проекта.

Благодарность

В заключение автор выражает благодарность профессорам д-ру техн. наук В. Е. Гайдачуку, д-ру техн. наук В. Ф. Забаште, доцентам канд. техн. наук В. В. Кириченко и канд. техн. наук А. В. Кондратьеву за помощь в подборе материалов для настоящей публикации.

Литература

1. Аверичкин, П. А. *Методология применения и оценка эффективности использования композиционных материалов в авиационной технике [Текст] / П. А. Аверичкин.* – Ярославль : И. ЯГСХА, 1999. – 306 с.
2. *Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. – Кн. 2. [Текст] : пер. с англ. / под ред. Дж. Любина.* – М. : Машиностроение, 1988. – 580 с.
3. Гайдачук, А. В. *Состояние и перспективы применения композиционных материалов в газотурбинных двигателях летательных аппаратов [Текст] / А. В. Гайдачук // Авиационно-космическая техника и технология.* – 2004. – № 3. – С. 11 – 20.
4. Гайдачук, А. В. *Композиционные материалы в ракетных двигателях летательных аппаратов [Текст] / А. В. Гайдачук // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та «ХАИ».* – 2004. – Вып. 37(2). – С. 7 – 15.
5. Нотон, Б. *Композиционные материалы: в 8 т. – Т. 3. Применение композиционных материалов в технике [Текст] / Б. Нотон ; под. ред. Л. Браутмана, Р. Крока.* – М. : Мир, 1978. – 512 с.
6. Балабуев, П. В. *Опыт применения композиционных материалов в транспортной авиации [Текст] / П. В. Балабуев // Авиационная промышленность.* – 1986. – № 9. – С. 9 – 14.
7. *Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов [Текст] / Г. М. Гуняев, В. В. Кривонос, А. Ф. Румянцев, Г. Ф. Железина // Конверсия в машиностроении.* – 2004. – № 4. – С. 65 – 69.
8. Забашта, В. Ф. *Опыт первого десятилетия внедрения конструкций из композиционных материалов [Текст] / В. Ф. Забашта // Авиационная промышленность.* – 1982. – № 7. – С. 46 – 50.
9. *Grumman producing composite 757 spoilers [Text] // American Metal Market.* – 1981. – V.89, № 177. – 14 p.
10. Каблов, Е. Н. *Материалы для авиакосмической техники [Текст] / Е. Н. Каблов // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое авиастроение.* – Москва : НИЦ АСК, 2008. – С. 377 – 388.
11. Beral, B. *A-350XWB Structures: A major Step forward for Composite Application [Text] / B. Beral // SAMPE EUROPE Technical Conference & “Table-Top”, Exhibition 2008 (SETEC 03/-08), 18-19 September 2008, Augsburg, Germany.* – 2008. – P. 124 – 134.
12. Гайдачук, В. Е. *Научная школа ХАИ по проблемам создания эффективных конструкций летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов [Текст] / В. Е. Гайдачук, Я. С. Карпов // Технологические системы.* – 1999. – № 2. – С. 82 – 83.
13. Гайдачук, В. Е. *Роль ХАИ в решении проблемы научного обеспечения внедрения композиционных материалов в авиационно-космическую технику: итоги и перспективы [Текст] / В. Е. Гайдачук, А. В. Гайдачук, Я. С. Карпов // Авиационно-космическая техника и технология.* – 2005. – № 7. – С. 21 – 39.
14. Stone, R. H. *Service experience of composite parts on L-1011 and C-130 [Text] / R. H. Stone, W. E. Harvill // SAMPE Quart.* – 1978. – № 2 (9). – P. 34 – 39.
15. *Composite programs pushed by NASA [Text] // Aviation Week and Space Technol.* – 1979. – № 20 (111). – P. 203 – 205.
16. Sanjay, K. Mazumbar. *Composites Manufacturing: materials, product and process engineering [Text] / Sanjay K. Mazumbar.* – Boca Raton (Fla.): CRC Press, 2002. – 392 p.
17. Anglin, J. M. *Application of composites in commercial aircraft abound [Text] / J. M. Anglin // ICAO Bulletin.* – Vol. 41. – 1986. – P. 14 – 17.
18. Забашта, В. Ф. *Об интегральных сборочных конструкциях из композиционных материалов [Текст] / В. Ф. Забашта // Авиационная промышленность.* – 1995. – № 3-4. – С. 23 – 28.
19. Бирюк, В. И. *Конструктивно-силовые схемы для перспективных широкофюзеляжных самолетов интегральной компоновки [Текст] / В. И. Бирюк // Труды ЦАГИ.* – 1997. – № 2628. – С. 79 – 80.
20. Makeev, V. P. *Принципы конструирования изделий из композиционных материалов [Текст] / В. П. Makeev, Н. П. Ершов // Композиционные материалы / под. ред. А. И. Манохина.* – М. : Наука, 1981. – С. 46 – 49.
21. Малмейстер, А. К. *Сопротивление полимерных и композитных материалов [Текст] / А. К. Малмейстер, В. П. Тамуж, Г. А. Тетерс.* – Рига : Зинатне, 1980. – 572 с.
22. Сливинский, В. И. *Научно-технические предпосылки создания в Украине наукоемкой технологии и конструкций на их основе для различных отраслей промышленности [Текст] / В. И. Сливинский // Технологические системы.* – 1999. – № 2. – С. 16 – 18.

23. Полимерные композиционные материалы» (1970-1996 гг.) [Текст] / Г. А. Кривов, А. И. Бабушкин, В. Ф. Забаишта и др. // 35 лет на рынке высоких технологий / Г. А. Кривов, А. И. Бабушкин, В. М. Белецкий и др.; под ред. Г. А. Кривога / НИИ авиационной технологии (УкрНИИАТ). – К. : МИИВЦ, 1999. – С. 107 – 118.
24. Антонов, О. К. Композиційні матеріали для авіабудування [Текст] / О. К. Антонов // Вісник АН УРСР. – 1975. – № 12. – С. 68 – 71.
25. Балабуев, П. В. Опыт применения композиционных материалов в транспортной авиации [Текст] / П. В. Балабуев // Композиционные материалы : сб. науч. тр. – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. – С. 27 – 36.
26. Кива, Д. С. Исследование, разработка и внедрение рациональных конструктивно-технологических решений агрегатов легких пассажирских самолетов из композиционных материалов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Дмитрий Семенович Кива. – Харьков : ХАИ, 1981. – 259 с.
27. Братухин, А. Г. Авиационные конструкции из композиционных материалов [Текст] / А. Г. Братухин, А. Г. Ромашин // Вестник машиностроения. – 1999. – № 11. – С. 30 – 36.
28. Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении [Текст] / под ред. А. Г. Братухина, В. С. Боголюбова, О. С. Сироткина. – М. : Знание, 2003. – 516 с.
29. Шушпанов, М. И. Опыт применения конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) в производстве семейства самолетов Ил-96 [Текст] / М. И. Шушпанов, В. А. Соловьев // Межвузовский сборник научных трудов Воронеж. гос. техн. ун-та. – Воронеж : Изд-во ВГТУ, 1999. – С. 18 – 23.
30. Забаишта, В. Ф. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения [Текст] : справ. / В. Ф. Забаишта, Г. А. Кривов, В. Г. Бондарь. – К. : Техніка, 1993. – 159 с.
31. Dabbs, R. G. Advanced materials in future aircraft design [Text] / R. G. Dabbs // Aircraft Eng. – 1975. – V. 47, № 1. – P. 21 – 24.
32. Gay, D. Composite Materials. Design and Application [Text] / D. Gay, S. V. Hoa. – CRC Press, 2007. – 328 p.
33. Михеев, С. В. Применение полимерных композиционных материалов в вертолетах марки КА [Текст] / С. В. Михеев // Композиционные материалы : сб. науч. тр. – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. – С. 36 – 39.
34. Gilmore, Brian. The composites revolution is well under way [Text] / Brian Gilmore // ICAO Bull. – 1986. – V. 41, № 8. – P. 10 – 13.
35. Kelsey, D. Atherton 6 Awesome Aircraft From The 2013 Paris Air Show [Электронный ресурс] / D. Kelsey. – Режим доступа: <http://www.popsci.com/tech-nology/article/2013-06/paris-air-show-2013>. – 10.09.2014. – Загл. с экрана.
36. Технологія виробництва літальних апаратів із композиційних матеріалів [Текст] / С. А. Бичков, О. В. Гайдачук, В. С. Гайдачук та інш. ; під ред. В. С. Гайдачука. – К. : ІСДО, 1995. – 376 с.
37. Боклер, Н. Мозаика технологий и процессов [Текст] / Н. Боклер // Air & Cosmos. – 2002. – № 1849. – С. 40 – 44.
38. Васильченко, Л. П. Комплексные решения задач технического и организационного уровня – залог успешного выполнения пятилетнего плана [Текст] / Л. П. Васильченко, С. А. Носальский // Авиационная промышленность. – 1986. – № 9. – С. 10 – 23.
39. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов [Текст] / В. Е. Гайдачук, В. Д. Гречка, В. Н. Кобрин, Г. А. Молодцов. – Х. : Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 332 с.
40. Забаишта, В. Ф. Стеклопластиковая оснастка для автоклавного формования обшивок из композиционных материалов [Текст] / В. Ф. Забаишта, Б. А. Бигула, Г. Г. Кантер. – М. : НИИАТ, 1979. – С. 58 – 63.
41. Забаишта, В. Ф. Техническая подготовка производства конструкций из композиционных материалов [Текст] / В. Ф. Забаишта. – К. : Техніка, 1993. – 148 с.
42. Захаров, В. А. Современные проблемы конструкций из композиционных материалов В. А. Захаров // Техника воздушного флота – 1997. – № 5 (71). – С. 48 – 54.
43. Петропольский, В. С. Разработка рациональных конструктивно-технологических решений формообразующей оснастки для изготовления деталей из полимерных композиционных материалов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.07.04 / Петропольский Виктор Сергеевич ; Харьковский авиационный ин-т им. Н. Е. Жуковского, Авиационный научно-технический комплекс им. О. К. Антонова. – Х., 1998. – 210 с.
44. Цыплаков, О. Г. Научные основы технологии композиционных волокнистых материалов. Часть 1 [Текст] / О. Г. Цыплаков. – Пермь : Пермское кн. изд-во, 1975. – 316 с.
45. Щербаков, В. Т. Конструкторско-технологические решения при создании деталей и агрегатов из композиционных материалов [Текст] / В. Т. Щербаков. – М. : Композиционные материалы, 1990. – С. 17 – 22.
46. Long, A. C. Composites forming technologies [Text] / A. C. Long. – CRC Press, 2007. – 328 p.
47. Mazumdar, S. K. Composites Manufacturing. Materials, Product and Process Engineering [Text] / S. K. Mazumdar. – CRC Press, 2002. – 398 p.
48. Oberfranz, R. Airbus. Automated systems for the manufacture of Airbus vertical stabilizer spar-box in composite materials [Text] / R. Oberfranz. – ICAS Proc, 1986: 15th Congr. London. – P. 7 – 12.
49. Butcher, D. N. Non-honeycomb F-16 horizontal stabilizer, structural design [Text] / D. N. Butcher // ICAS Proc. Proc, 1982: 13th Congr. Int. Council., Aeron.

Sci/AIAA Aircraft Syst. And Technol. Conf., Seattle. – 1982. – V. 2, S. 1. – P. 586 – 592.

50. Оценка прочности, надежности и долговечности лопасти воздушного винта из комбинированных композиционных материалов [Текст] / В. Е. Гайдачук, Д. С. Кива и др. // *Механика анизотропных конструкций.* – М. : ВИМИ, 1979. – С. 44 – 48.

51. Гиммельфарб, Ф. А. Современные методы контроля композиционных материалов [Текст] / Ф. А. Гиммельфарб, С. Л. Шварцман. – М. : Металлургия, 1979 – 248 с.

52. Композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов [Текст] : пер. с англ. / под ред. А. Л. Абибова. – М. : Машиностроение, 1975. – 272с.

53. Сироткин, О. С. Проектирование соединенных конструкций из композиционных материалов [Текст] / О. С. Сироткин / *Изв. вузов. Машиностроение.* – 1978. – № 2. – С. 20 – 23.

54. Эффективность сотовых конструкций различного назначения [Текст] / В. И. Сливинский, Г. В. Ткаченко, С. В. Телегин, В. А. Щеголь // *Композиционные материалы в промышленности : сб. материалов 27 междунар. науч.-практ. конф., Ялта 28 мая – 1 июня 2007 г. / Украинский информационный Центр «Наука. Техника. Технология».* – Киев, 2007. – С. 437 – 438.

55. Goddard, P. N. Применение композиционных материалов фирмой Westland [Текст] / P. N. Goddard // *Proc. 2nd Conf. Mater., Eng., London, 1985 – P. 243 – 251.*

Поступила в редакцию 10.11.2014, рассмотрена на редколлегии 19.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., Заслуженный деятель науки и техники Украины, Председатель правления Г. А. Кривов, АО «Украинский научно-исследовательский институт авиационной технологии», Киев.

ЕТАПИ СТАНОВЛЕННЯ ТА ПОЧАТКУ РОЗГОРНУТОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В КОНСТРУКЦІЯХ ПАСАЖИРСЬКИХ І ТРАНСПОРТНИХ ЛІТАКІВ (1970 - 1995 рр.)

Д. С. Кива

Проаналізовано стан застосування полімерних композиційних матеріалів у вітчизняних та зарубіжних пасажирських і транспортних літаках на початковому етапі заміщення ними металевих деталей і агрегатів і наступних стадіях їх впровадження у вітчизняних конструкціях даного класу. Розкрито переваги полімерних композитів у специфічній для розглянутого класу літаків сфері застосування, дано аналіз раціональних типових конструктивно-технологічних рішень. Розглянуто проблеми та перспективи застосування полімерних композиційних матеріалів в авіабудуванні України.

Ключові слова: пасажирські та транспортні літаки, полімерні композиційні матеріали, конструктивно-технологічні рішення, ефективність застосування.

STAGES OF FORMATION AND BEGINNING OF EXPAND USE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN CONSTRUCTIONS OF PASSENGER AND TRANSPORT AIRPLANES (1970 - 1995 years)

D. S. Kiva

The state of the application of polymeric composite materials in domestic and foreign passenger and transport airplanes on the initial stage of metal parts and aggregates replacement and on the later stages of composite materials expanding implementation in the domestic constructions of this class is analyzed.

The advantages of polymer composites in specific for this class of aircraft scope of application are considered; the analysis of the rational model design and technological solutions is performed. The problems and prospects of polymer composite materials in the Ukrainian aircraft industry are considered.

Keywords: passenger and transport airplanes, polymer composite materials, design and technological solutions, effectiveness of application.

Кива Дмитрий Семенович – д-р техн. наук, профессор, академик НАН Украины, президент - генеральный конструктор, Государственное предприятие «Антонов», Киев, Украина, e-mail: kyva@antonom.com.