

Коцюба А. А.¹, Кондратьев А. В.², Кириченко В. В.²

¹ Национальный авиационный университет. Украина, г. Киев

² Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». Украина, г. Харьков

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМОВ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТАХ НА ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПЕРИОДЫ

Предложена методология инженерного прогнозирования объемов применения полимерных композиционных материалов в отечественных гражданских самолетах на долгосрочные периоды. Методология основывается на экспертном учете основных факторов, определяющих темпы роста объемов применения композитов в отечественном самолетостроении, и аналитических функциях, аппроксимирующих этот рост по мировым статистическим данным. [dx.doi.org/10.29010/080.8]

Ключевые слова: методология инженерного прогнозирования; объемы применения полимерных композиционных материалов; гражданские самолеты; мировая статистика; экспертные оценки отечественных факторов влияния.

Введение

Мировой рынок продаж и услуг воздушных судов транспортной категории (ВС ТК), на котором присутствует весьма ограниченное число государств, включая Украину, характеризуется все возрастающей конкуренцией, успешное участие в которой предполагает постоянный рост весовой отдачи, надежности и ресурса, а также других эксплуатационных характеристик самолета.

Анализ мирового опыта свидетельствует, что одним из эффективных направлений решений этой проблемы является постоянное увеличение объема применения в планере ВС ТК полимерных композиционных материалов (ПКМ) (рис. 1) [1, 2].

Однако рост объема применения ПКМ сопряжен с рядом особенностей как на этапе проектирования изделия, так и на стадии реализации проекта в конкретных условиях производства, сопряженных с многими аспектами.

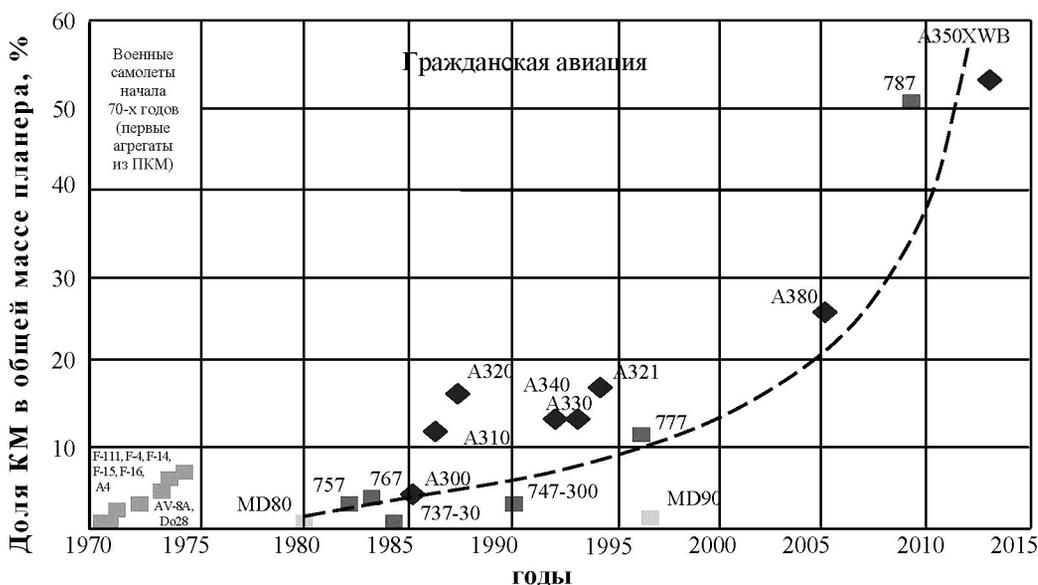


Рис. 1. Рост объемов применения ПКМ в зарубежных гражданских самолетах

В связи с этим актуальной проблемой является разработка методологии инженерного прогнозирования и научного обеспечения эффективного объема внедрения ПКМ в отечественных ВС ТК на разносрочные периоды.

Анализ проблемы

Анализ многочисленных публикаций, относящихся к проблеме методологии инженерного прогнозирования эффективных объемов применения ПКМ в ВС ТК, позволил выделить наиболее важные и актуальные ее составляющие (рис. 2) [1]. Составляющие методологии реализации создания гражданских ВС ТК с агрегатами из ПКМ на ГП «Антонов» в современных условиях нашли отражение в ряде наших публикаций. Так вопросы синтеза основных составляющих оценки эффективности создания агрегатов ВС из ПКМ освещены в [3, 4], анализа и синтеза эффективности этапов технической подготовки производства этих конструкций обсуждался [5], а синтез критериев эффективных объемов внедрения ПКМ на этапах проектирования агрегатов – в [6–8]. Анализ и синтез эффективности организационной структуры производства агрегатов гражданских ВС из ПКМ ранее нашли отражение в [9, 10] и ждет дальнейшего осуществления.

Эти результаты формируют собой основные компоненты составляющих факторов инженерного прогнозирования внедрения ПКМ в отечественных гражданских самолетах [11] (рис. 3).

Эти составляющие в большинстве своем являются элементами концепции создания отечествен-

ных ВС и их модификаций, входящей в комплекс инженерного прогнозирования эффективного объема внедрения ПКМ в агрегатах гражданских самолетов (рис. 2). В [11] дан анализ этих факторов и показано, что они формируют собой специфические особенности отечественного самолетостроения, которые необходимо учитывать в методологии прогнозирования в составе ее общемировых тенденций.

Инженерное прогнозирование технических объектов получило интенсивное развитие и в основном сформировалось в научную систему в начале 70-х годов прошлого столетия в связи с ускорением технического прогресса во всех странах в определяющих отраслях техники [12–15]. По видимому одной из основных работ, формирующих теоретические основы инженерного прогнозирования, явилась работа [16]. В каждой из определяющих научно-технический уровень отрасли может быть выделен главный признак роста ее эффективности, в комплексе с другими отраслями образующий научно-технический потенциал государства.

Главным признаком авиастроительной отрасли является перманентный рост экономической эффективности ВС ТК, интегральными составляющими которого являются основные факторы увеличения их технико-эксплуатационных характеристик, в свою очередь предопределяемых в существенной степени свойствами применяемых материалов.

В работе [17] проведено прогнозирование максимального технически возможного объема применения ПКМ в конструкции планера ВС ТК без учета каких-либо факторов, ограничивающих этот объем, который можно рассматривать как предель-



Рис. 2. Фрагмент блок-схемы состава методологии инженерного прогнозирования эффективного объема внедрения полимерных композиционных материалов в конструкции отечественных гражданских самолетов

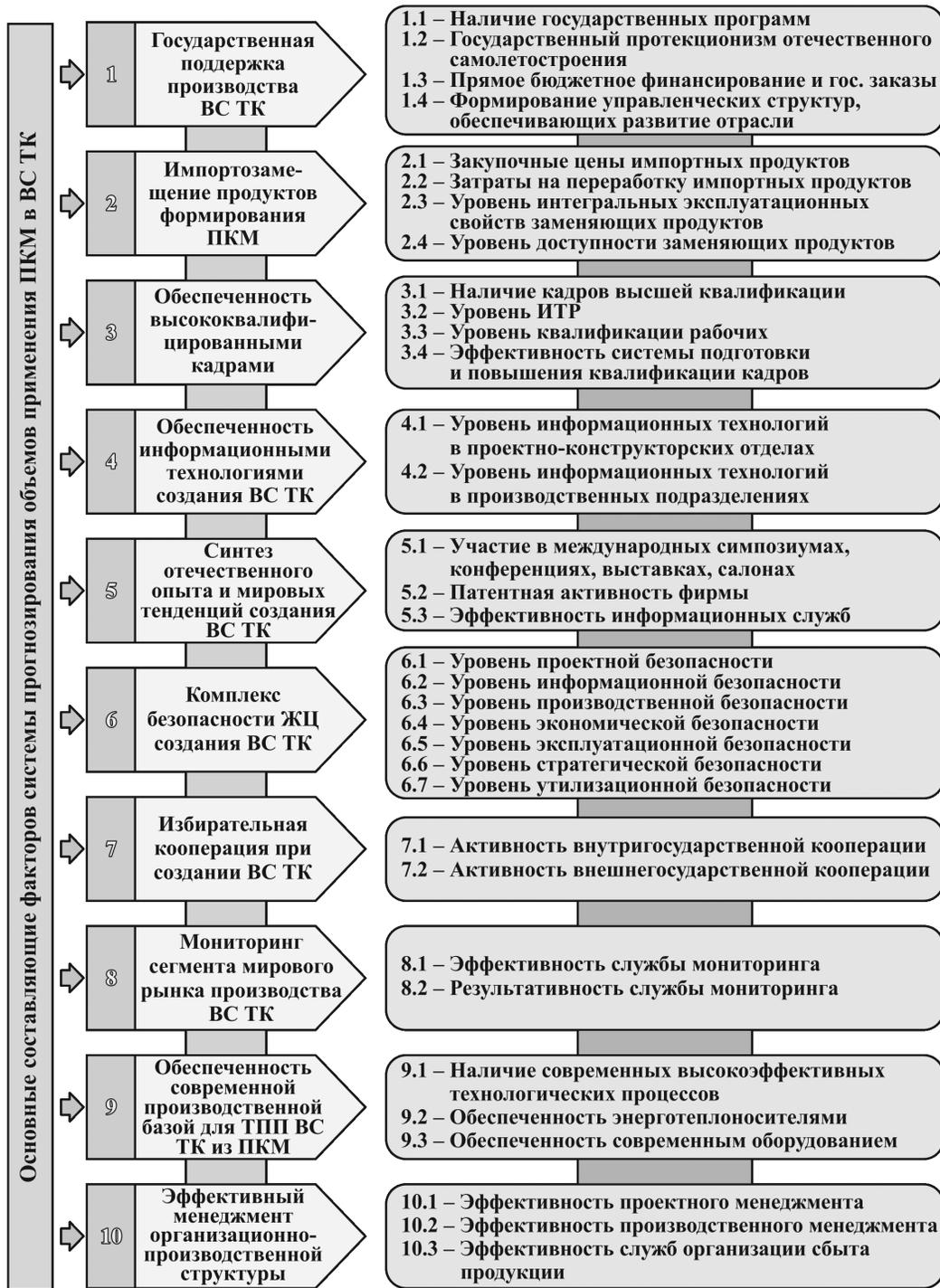


Рис. 3. Основные компоненты составляющих факторов, формирующих главный признак системы прогнозирования объемов ПКМ в ВС ТК

ный при благоприятном стечении этих не установленных факторов.

Основная часть

В [16] предложено использование генеральной определительной таблицы (ГОТ), отражающей систему требований к новым объектам техники,

включающую так называемые характеристики (или цели) прогнозирования и позиции (подцели), в совокупности образующие дерево «характеристики – позиции», а также их оценки, выраженные в баллах или в вероятностях достижения цели по каждой характеристике и позиции, в сумме устанавливающие прогнозируемый уровень объекта техники в определенный временной период.

Генеральная определительная таблица уровней факторов и их составляющих

№ позиции	Наименование уровня реализации фактора (составляющей)	Оценка	
		Базисные баллы	Баллы, скорректированные по весам
1	Реализация фактора практически отсутствует	1	0,1...1
2	Низкий уровень реализации фактора (составляющей)	2	1,1...2
3	Средний уровень реализации фактора (составляющей)	3	2,1...3
4	Высокий уровень реализации фактора (составляющей)	4	3,1...4
5	Реализация фактора (составляющей) практически полная	5	4,1...5

Можно усмотреть аналог между ГОТ и уровнями каждого из установленных в [11] факторов и их составляющих (компонент) (рис. 3). Уровни каждого фактора и его составляющих, а также их балльные оценки, можно представить в таблице 1 – аналоге универсальной ГОТ, приведенной в работах [16].

Всевозможные источники информации сливаются в единую систему, преобразующую их в так называемую ГОТ, на основе которой определяется значимость каждого источника информации для инженерного прогнозирования.

ГОТ представляется в виде нормированного специального словаря (тезауруса или дискрептора), позволяющего преобразовать содержащуюся в факторах и их компонентах данные в формализованные оценки. Минимальные оценки в ГОТ соответствуют нулевой новизне, максимальные – техническому решению, доказанному теоретически и экспериментально. Уровни реализации устанавливаются экспертами по пятибалльной шкале.

Отметим, что порядок синтезированных факторов рис. 3 не определяет их важность (значимость) в аспекте вклада в рост объема ПКМ в конструкции ВС ТК при его прогнозировании.

Для установления значимости каждого фактора ($\Phi_i = 1,2,...,10$) обратимся к формуле

$$\Phi_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^{10} r_i}, \quad (1)$$

где r_i – балл уровня i -го фактора, определяемый по аналогичной формуле

$$r_i = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^k r_{ij}}, \quad (2)$$

где r_{ij} – балл j -й составляющей i -го фактора; k – число составляющих i -го фактора.

Балл r_{ij} определяется по ГОТ (таблица 1) экспертом или экспертной группой, выбор которой производится в соответствии с теориями экспертных оценок [15, 18].

Возможно два уровня установления ранга (весомости) каждого фактора: приближенный и уточненный. В первом случае ранг фактора определяется по формуле (1), в которой его балл находят по ГОТ табл. 1. Во втором случае используется формула (2), в которой как указано выше, балл r_{ij} определяют по ГОТ, а затем окончательный ранг факторов вычисляют по формуле (1).

По-видимому, в первом случае компетентность экспертов лежит в области интегральных знаний о факторах системы прогнозирования, что имеет место для высшего руководящего звена специалистов отрасли, в то время как во втором случае компетентность экспертной группы ориентирована на знания, дифференцированные (углубленные) в сферу частных составляющих факторов и должна состояться из различных специфических групп, обладающих знаниями в этих областях составляющих факторов.

Таким образом изложенный выше подход позволяет установить уровни (ранги) факторов по их влиянию на объем ПКМ в ВС ТК, что способствует рациональной ориентации прогнозистов на составляющие системы прогнозирования, но не дает выхода как на период прогноза, так и непосредственно на его количественный результат – объем применения ПКМ в конструкции ВС ТК в конце прогнозируемого периода. Результаты гипотетического примера определения рангов факторов по первому способу приведены в табл. 2.

Приступим к анализу возможностей прогнозирования главного признака – предельного технически реализуемого относительного объема приме-

Гипотетический пример экспертной оценки уровней и значимости факторов, определяющих главный прогнозирующий признак

Номер фактора по рис. 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Экспертная оценка уровня фактора по ГОТ табл. 1 r_i	1,5	1,3	3,4	2,1	2,6	2,2	0,1	2,9	2,8	3,1
Значимость фактора Φ_i в %	6,8	5,9	15,5	9,5	11,8	10	0,45	13,2	12,7	14,1

нения ПКМ в ВС ТК. В отличие от подхода, предложенного в [17], будем исходить из синтеза статистических данных о динамике роста относительных объемов применения ПКМ в отечественных и зарубежных ВС по годам, начиная с 1965 г., представленных в таблице 3 по данным источников [1, 3, 17] и др.

Данные таблицы 3 представлены на рис. 4. Точность этих сведений по-видимому различна. Однако отсутствие данных о ней побуждает считать все эти данные равновероятными.

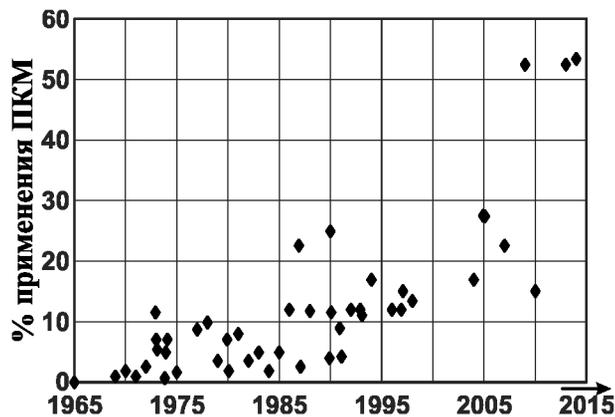


Рис. 4. Поле статистических значений относительных объемов применения ПКМ в воздушных судах в период с 1965 г. по 2015 г.

Анализ данных рис. 4 позволяет рассмотреть две модели аппроксимации поля этих экспериментальных точек предпрогнозного периода той или иной функцией $\bar{V}_{пкм} = f(\tau)$. При этом в качестве критерия точности описания этой функцией поля экспериментальных точек предлагается выбрать параметр R^2 (достоверность аппроксимации):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - y_{cp})^2}{\sum (y_i - y_{теор})^2}, \quad (3)$$

где: y_i и y_{cp} – ординаты i -й точки поля и их среднее значение; $y_{теор}$ – ордината соответствующей аппроксимирующей функции $f_i(\tau)$.

Тогда максимальное значение R^2 определит наилучшую из аппроксимирующих функций, которой в дальнейшем описывается временной ряд до ординаты $y = \bar{V}_{пкм, max}$, принимаемой за максимально технически возможный уровень применения ПКМ в ВС ТК. Однако в этой модели $\bar{V}_{пкм, max}$ не является максимумом аппроксимирующей функции, а просто отсекает на ней абсциссу, соответствующую прогнозируемому году, в котором предполагается реализация $\bar{V}_{пкм}$. Кроме того экстраполяция объемов $\bar{V}_{пкм}$ за пределами конца предпрогнозного периода, на котором $R^2 = \max$, не обеспечивает этой точности (достоверности) аппроксимации: отсутствие экспериментальных точек на экстраполированном участке временного ряда не дает возможности определить соответствующий R^2 . Классам функций, реализуемых этой моделью, являются полиномы первой и последующих степеней, а также экспоненты.

Вторая модель предполагает аппроксимацию экспериментального поля точек предпрогнозного (интерполяционного) периода классом функций, максимум которых соответствует абсциссе $y = \bar{V}_{пкм, max}$. Однако, как и в первой модели, R^2 выбранной функции описывает точность ее аппроксимации только на предпрогножном периоде и не гарантирует этой точности за его пределами.

В классе функций, реализующих вторую модель, нами установлены три*:

$$f_1(\tau) = \frac{1}{a\tau^2 + b\tau + c}; \quad (4)$$

$$f_2(\tau) = a(\sin b\tau - c) + 1; \quad (5)$$

$$f_3(\tau) = \frac{a}{b + e^{-c\tau}}, \quad (6)$$

* Математика не ограничивает число гладких функций, имеющих \max на прогнозируемом участке и обеспечивающих высокое значение R^2 на участке интерполяции.

Статистические данные о динамике объемов применения ПКМ в самолетах

№ п/п	Год	Самолет	$V_{ПКМ}, \%$	№ п/п	Год	Самолет	$V_{ПКМ}, \%$
1	1969	B747	1	24	1987	Ил96	2,5
2	1970	Ан-28	2	25	1988	Ту-204	10,5...13
3	1971	F-111, F-15	1	26	1990	B747	4
4	1972	F-4	2,5	27	1990	Ан-70	25
5	1973	F-14	7...16	28	1990	ATR42	11,3
6	1973	A-4	7	29	1991	Ил-114	8...10
7	1973	Ан-24	5,5	30	1991	Су29, Су31	4,2
8	1974	F-14A	0,6	31	1992	A340	12
9	1974	AV-BA	5	32	1993	A330	12
10	1974	Do28	7,1	33	1993	A321	11
11	1975	F-15	1,6	34	1994	A321	17
12	1977	Ан-72	8,6	35	1996	B727	12
13	1978	F-18	10	36	1997	Бе-200	12
14	1979	Су-27	3,5	37	1997	Ту-334	15
15	1980	МиГ-29	7	38	1998	SSJ100	13,5
16	1980	MD80	2	39	2004	Ан-148	17
17	1981	Ан-124	8	40	2005	Hasher4000	25...30
18	1982	B757	3,5	41	2005	A-380	25...30
19	1983	B767	5	42	2007	ATR72	22,6
20	1984	B734-90	2	43	2009	B-787	50...55
21	1985	A300	5	44	2010	B-747-8 Freighter	15
22	1986	A310	12	45	2013	A-350	50...55
23	1987	A320	22,5	46	2014	A-350XWB	53,5

имеющие максимумы при определенных значениях коэффициентов a, b, c .

Поведение этих функций за пределом $y = \bar{V}_{ПКМ \max}$ при этом не соответствует физическому смыслу рассматриваемой задачи.

В плане развития второго подхода представляет интерес синтез некоторой сложной функции, которая бы «удерживала» ординату $y = \bar{V}_{ПКМ \max}$ при ее достижении в близком к ней значении, т.е. обеспечило бы ее постоянство.

В отличие от [17] предельно возможный относительный объем применения ПКМ в ВС ТК будем прогнозировать исходя из анализа объема принци-

пиально не заменяемых ПКМ узлов и деталей конструкции самолета по статистическим данным, приведенным в [19] и [20] (таблица 4). Как следует из табл. 4, максимально возможный относительный объем применения ПКМ в ВС ТК лежит в пределах $0,8 < \bar{V}_{ПКМ \max} \leq 0,9$.

Исходя из этого диапазона в таблице 5 приведены прогнозируемые сроки достижения относительных объемов применения ПКМ 80% и 90% от массы планера, посчитанные по аппроксимирующим функциям многочленов первой-четвертой степени, экспоненты, а также по формулам (4) – (6).

Незаменяемые ПКМ узлы и детали в планере самолета

№ п/п	Агрегат	% $m_{кр}$	Незаменяемые на ПКМ части агрегата	% от части агрегата	Незаменяемый ПКМ % от части планера
1	Крыло	8...12	Узлы, стыки, крепеж и прочее	6...8 4...6	
		30...40 от массы планера	Всего по агрегату	10...14	0,8...1,7
2	Фюзеляж	8...12	Фонарь пилотов, окна пассажирского салона, прочее (перегородки, соединения герметизация, крепеж)	10...12 4...5 9...11	
		30...40 от массы планера	Всего по агрегату	23...27	1,85...3,24
3	Оперение	1,5...2,5	Узлы крепления, прочее (законцовки, крепеж, детали крепления оборудования)	6...8 8...13	
		(1,5...2,5) 0,3 от массы планера	Всего по агрегату	14...21	0,2...0,5
4	Шасси	(3...5)min (4...6)max	Колеса, амортизатор с шлиц шарниром, детали тележки, оси колес, кинематические детали и механизмы, детали управления и автоматики	45...50 16...20 9...10 20	
			Всего по агрегату	95...98	3,9...5,9
Всего по всем агрегатам					6,8...11,35
Шпатлевка и покраска планера					3...3,5
Всего по планеру					9,8...14,85

Анализ приведенных в этих таблицах результатов показывает, что максимальной достоверности аппроксимации R^2_{max} как для $\bar{V}_{ПКМ, max} = 0,8$, так и для $\bar{V}_{ПКМ, max} = 0,9$ соответствует многочлен четвертой степени в случае реализации первой модели (рис. 5) и логистическая функция (6) при ориентации прогноза на модель 2 (рис. 6).

Предпочтение первой или второй модели при реализации инженерного прогнозирования с ориентацией на $\bar{V}_{ПКМ, max} = 0,8$ или $\bar{V}_{ПКМ, max} = 0,9$ по видимому является прерогативой лица, принимающего решение (ЛПР), возглавляющего фирму или всю отрасль с учетом ряда дополнительных условий (ограничений).

Представляется оправданной попытка гармонизации принятой ЛПР функции прогнозирования $\bar{V}_{ПКМ, max} = f_{opt}(\tau)$ с экспертными оценками на базе ГОТ табл. 18.

Функция $\bar{V}_{ПКМ} = f_{opt}(\tau)$ получена на основе согласования статистической интерполяции мировых данных предпрогнозного периода и ее экстраполяции в точку $\bar{V}_{ПКМ, max} = 0,8$ или $\bar{V}_{ПКМ, max} = 0,9$, предсказанную статистической обработкой обобщенных мировых данных по относительным массам узлов и деталей агрегатов планера ВС, которые принципиально не могут быть изготовлены из ПКМ. Таким образом функция $\bar{V}_{ПКМ} = f_{opt}(\tau)$ есть продукт «размытой» по странам и классам ВС статистике.

Экспертные же оценки на основе ГОТ табл. 1 получают путем анализа вклада факторов определяющих прогноз $\bar{V}_{ПКМ}$ конкретной отечественной фирмы или отрасли по их состоянию на краткосрочный период прогнозирования. Таким образом, следует ожидать объективных расхождений оценок по $\bar{V}_{ПКМ} = f_{opt}(\tau)$ и на базе ГОТ табл. 1 так как описанные выше модели инженерного прогнозирования

Прогноз сроков достижения объемов применения ПКМ

№ п/п	Уравнение аппроксимации	Достоверность аппроксимации	Год достижения
Прогнозируемый объем применения ПКМ 80%			
1	$\bar{V}_{ПКМ} = 0,78\tau - 5,0987$	0,6081	2074
2	$\bar{V}_{ПКМ} = 0,026\tau^2 + 0,5005\tau - 6,273$	0,7287	2029
3	$\bar{V}_{ПКМ} = 0,0012\tau^3 + 0,0621\tau^2 + 1,2947\tau - 2,3219$	0,7646	2020
4	$\bar{V}_{ПКМ} = 3 \cdot 10^{-5}\tau^4 - 0,002\tau^3 + 0,0393\tau^2 + 0,156\tau + 0,9948$	0,7704	2022
5	$\bar{V}_{ПКМ} = 5,3\exp(0,038\tau)$	0,6262	2037
6	$\bar{V}_{ПКМ} = \frac{1}{0,00002\tau^2 - 0,00312\tau + 0,13418}$	0,574	2043
7	$\bar{V}_{ПКМ} = 40(\sin(0,016\tau - 1,12) + 1)$	0,5380	2145
8	$\bar{V}_{ПКМ} = \frac{5,3}{0,0588 + \exp(-0,045\tau)}$	0,596	2075
Прогнозируемый объем применения ПКМ 90%			
1	$\bar{V}_{ПКМ} = 0,78\tau - 5,0987$	0,6081	2087
2	$\bar{V}_{ПКМ} = 0,026\tau^2 + 0,5005\tau - 6,273$	0,7287	2032
3	$\bar{V}_{ПКМ} = 0,0012\tau^3 + 0,0621\tau^2 + 1,2947\tau - 2,3219$	0,7646	2022
4	$\bar{V}_{ПКМ} = 3 \cdot 10^{-5}\tau^4 - 0,002\tau^3 + 0,0393\tau^2 + 0,156\tau + 0,9948$	0,7704	2023
5	$\bar{V}_{ПКМ} = 5,3\exp(0,038\tau)$	0,6262	2039
6	$\bar{V}_{ПКМ} = \frac{1}{0,00003\tau^2 - 0,004968\tau + 0,1825}$	0,6918	2034
7	$\bar{V}_{ПКМ} = 40(\sin(0,026\tau - 1,46) + 1)$	0,6808	2085
8	$\bar{V}_{ПКМ} = \frac{5,3}{0,0588 + \exp(-0,045\tau)}$	0,596	2173

года достижения $\bar{V}_{ПКМ}$ не связаны с реальными особенностями развития отечественного самолетостроения на участке экстраполирования с момента его начала, то есть аппроксимирующие функции отражают как бы идеальный процесс темпов развития мирового самолетостроения по среднестатистической схеме, предопределенной его статистикой с условного начала применения ПКМ в ВС ТК в 1965 году.

Реальные специфические особенности именно отечественного самолетостроения отражают комп-

лекс факторов и их составляющих, формирующих главный прогнозирующий признак, синтезированный выше (рис. 3) и использование ГОТ, отображающей экспертные оценки уровней и значимости этих факторов.

Поэтому замыкающим звеном, связывающим методологию прогнозирования по описанным выше моделям, является введение изменения масштаба шкалы абсциссы на коэффициент реального отставания (запаздывания) отечественных темпов внедрения ПКМ в ВС ТК от описываемого «иде-

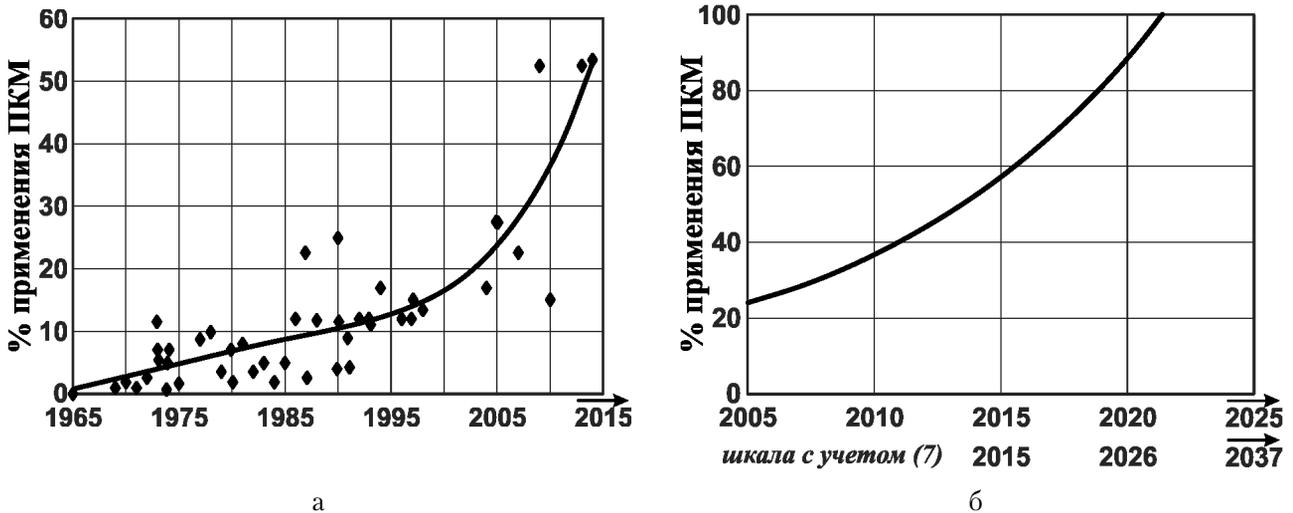


Рис. 5. Прогнозируемый временной ряд динамики роста $\bar{V}_{пкм}$ функцией многочлена четвертого порядка: а – интерполяционный период; б – экстраполяционный период

альной» моделью в промежутке от начала прогноза (условно 2015 год) до координаты $\bar{V}_{пкм \cdot \max}$.

Этот коэффициент по-видимому приблизительно можно установить в виде обратного отношения суммы значимости каждого фактора Φ_i к сумме определяемых в соответствии с ГОТ максимальной или достаточно высокой значимости 10 факторов по 5-балльной шкале, т.е.

$$\vartheta_{реальн} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Phi_{\max ГОТi}}{\sum_{i=1}^{10} \Phi_{iреальн}} \quad (7)$$

Если воспользоваться результатами приведен-

ного выше примера табл. 2, то $\sum_{i=1}^{10} \Phi_{iреальн} = 22$,

$$\sum_{i=1}^{10} \Phi_{\max ГОТi} = 50 \text{ и } \vartheta_{реальн} = \frac{50}{22} = 2,27. \text{ При}$$

$$\sum_{i=1}^{10} \Phi_{\max ГОТi} = 40 \text{ } \vartheta_{реальн} = \frac{40}{22} = 1,82.$$

Именно на один из этих коэффициентов, определяемых лицом, принимающим решение, должен быть изменен масштаб прогнозного участка оси абсцисс прогнозируемого временного ряда на рис. 5 и 6 (шкалы с учетом (7)).

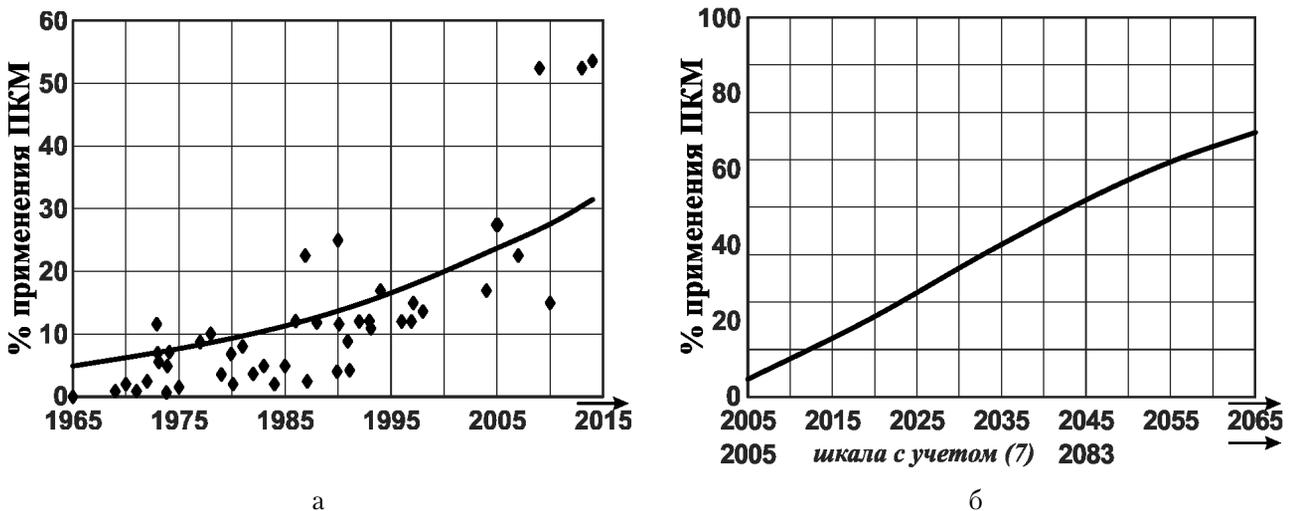


Рис. 6. Прогнозируемый временной ряд динамики роста $\bar{V}_{пкм}$ по логистической функции (6) табл. 5: а – интерполяционный период; б – экстраполяционный период

Выводы

1. Предложена методология инженерного прогнозирования объемов применения ПКМ в отечественных гражданских самолетах, учитывающая:

- мировую статистику перманентного роста этого объема, аппроксимируемую аналитическими функциями с условного начального периода x внедрения до максимального технически возможного уровня;

- формируемую на основе ГОТ оценку установленных 10 взаимосвязанных факторами, отражающими особенности функционирования отечественной самолетостроительной отрасли. Эта оценка изменяет масштаб временной шкалы на экстраполируемом участке на коэффициент реального запаздывания отечественных темпов внедрения ПКМ.

2. Ранг значимости составляющих системы, формирующей главный прогнозирующий признак, рекомендовано определять на основе двух уровней приближения в зависимости от целевой потребности анализа с использованием экспертных групп, ориентированных на различную глубину и широту их компетентности в сфере создания (проектирования и производства ВС ТК) из ПКМ.

Предложенный подход позволяет достаточно полно использовать научный и технический потенциал экспертной группы, что повысит точность результирующих оценок.

3. Несмотря на недостатки предложенной методологии инженерного прогнозирования, она представляется важным инструментом в оценке перспектив и возможностей развития отечественного самолетостроения.

Литература

- [1] Бычков С. А. Состояние и проблемы применения новых конструкционных материалов в отечественных гражданских самолетах в современных условиях. Сообщение 2. Полимерные композиты в отечественных гражданских самолетах в современных условиях (1995–2015 г.г.): первопричины и закономерности внедрения [Текст] / С. А. Бычков, А. А. Коцюба // Авиационно-космическая техника и технология. – № 6(133). – 2016. – С. 4–14. – ISSN 1727-7337.
- [2] Конструкционные материалы в самолетостроении [Текст] / А. Г. Моляр, А. А. Коцюба, А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко. – Киев: КВИЦ, 2015. – 400 с.
- [3] Коцюба А. А. Сущность и содержание понятий эффективности в анализе перспективных объемов внедрения полимерных композиционных материалов в конструкциях отечественных гражданских самолетов [Текст] / А. А. Коцюба, А. В. Кондратьев // Технологические системы. – № 4(77). – 2016. – С. 20–28. – ISSN 2074-0603.
- [4] Коцюба А. А. Реализация критерия технической эффективности применительно к анализу конструкций агрегатов гражданских самолетов из полимерных композиционных материалов [Текст] / А. А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – № 3(91). – 2017. – С. 7–14. – ISSN 1818-8052.
- [5] Коцюба А. А. Формирование эффективности этапа технологической подготовки производства агрегатов гражданских самолетов [Текст] / А. А. Коцюба // Авиационно-космическая техника и технология. – № 2(137). – 2017. – С. 60–70. – ISSN 1727-7337.
- [6] Коцюба А. А. Анализ эффективности конструктивно-технологических решений агрегатов воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов ГП «Антонов» и реализующих их технологий [Текст] / А. А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – № 2(86). – 2016. – С. 7–14. – ISSN 1818-8052.
- [7] Коцюба А. А. Формирование критерия эффективности проектирования конструкций гражданских самолетов из полимерных композитов на этапе выбора их состава [Текст] / А. А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – № 3(87). – 2016. – С. 19–31. – ISSN 1818-8052.
- [8] Коцюба А. А. Формирование составляющих комплексного критерия эффективности проектирования агрегатов гражданских самолетов из полимерных композитов на основных этапах их создания [Текст] / А. А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – № 4(88). – 2016. – С. 22–36. – ISSN 1818-8052.
- [9] Король В. Н. О некоторых ключевых составляющих проблемы организации и реализации современного опытного производства пассажирских и транспортных самолетов в Украине [Текст] / В. Н. Король // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – № 4(31). – 2002. – С. 6–18. – ISSN 1818-8052.
- [10] Король В. Н. Организация научно-производственной базы для создания конструкций из КМ [Текст] / В. Н. Король // Авиационно-космическая техника и технология – № 3(38). – 2003. – С. 108–114. – ISSN 1727-7337.
- [11] Коцюба А. А. Синтез системы прогнозирования объемов применения полимерных композиционных материалов в отечественных гражданских самолетах на долгосрочные периоды [Текст] / А. А. Коцюба, А. В. Кондратьев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – № 2(90). – 2017. – С. 7–23. – ISSN 1818-8052.
- [12] Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса [Текст] / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1970. – 213 с.

- [13] Ямпольский С. М. Проблемы научно-технического прогнозирования [Текст] / С. М. Ямпольский, Ф. М. Хиллок, В. А. Лисичкин. – М.: Экономика, 1969. – 143 с.
- [14] Cleland D. I. Systems analysis and project management [Text] / D. I. Cleland, W. R. King. – New York: McGraw-Hill, 1983. – 490 p.
- [15] Добров Г. М. Прогнозирование и оценки научно-технических нововведений [Текст] / Г. М. Добров, А. А. Коренный. – К.: Наукова думка, 1989. – 276 с.
- [16] Гмошинский В. Г. Инженерное прогнозирование [Текст] / В. Г. Гмошинский. – М.: Энергоиздат, 1982. – 208 с.
- [17] Гвоздев М. А. Прогнозирование технически возможного объема внедрения полимерных композиционных материалов в конструкциях самолетов [Текст] / М. А. Гвоздев, А. В. Кондратьев // Технологические системы. – № 1(74). – 2016. – С. 7–13. – ISSN 2074-0603.
- [18] Cleland D. I. Systems analysis and project management [Text] / D. I. Cleland, W. R. King. – New York: McGraw-Hill, 1983. – 490 p.
- [19] Проектирование самолетов / С. М. Егер, В. Ф. Мишин, Н. К. Лисейцев и др. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.
- [20] Torenbeek E. Synthesis of Subsonic Airplane Design [Text] / E. Torenbeek. – Delft University Press, 1982. – 598 p.

Kotsiuba O. A.¹, Kondratiev A. V.², Kyrychenko V. V.²

¹ National Aviation University, Ukraine, Kiev

² National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute». Ukraine, Kharkiv

METHODOLOGY OF LONG-TERM FORECASTING THE VOLUMES OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS APPLICATION IN DOMESTIC CIVIL AIRCRAFTS

The methodology of engineering forecasting of volumes of polymer composite materials application in domestic civil aircrafts for the long-term periods is offered. The methodology is based on expert consideration of the main factors, that define growth rates of volumes of composites application in domestic aircraft construction, and analytical functions approximating this growth according to the world statistical data. [dx.doi.org/10.29010/080.8]

Keywords: methodology of engineering forecasting; volumes of polymer composite materials application; civil aircrafts; world statistics; expert evaluations of domestic factors of influence.

References

- [1] Bychkov S. A. State and problems of using of new construction materials in domestic civil aircraft in modern conditions. Report 2. Polymer composites in domestic civil aircrafts in the modern conditions (1995–2015 years): original reasons and principles of implementation [Text] / S. A. Bychkov, O. A. Kotsiuba // Aviation and space technology and technology. – No. 6(133). – 2016. – Pp. 4–14. – ISSN 1727-7337.
- [2] Structural materials in aircraft construction [Text] / A. G. Molar, O. A. Kotsiuba, A. S. Bychkov, O. Yu. Nechiporenko. – Kiev: KVTS, 2015. – 400 p.
- [3] Kotsiuba O. A. Essence and content of efficiency concepts in the analysis of promising amount of polymeric composite materials application in domestic civil aircraft structures [Text] / O. A. Kotsyuba, A. V. Kondratiev // Technological systems. – No. 4(77). – 2016. – Pp. 20–28. – ISSN 2074-0603.
- [4] Kotsiuba O. A. Realization of the criterion of technical efficiency with reference to the analysis of constructions of aggregates of civil aircraft from polymeric composite materials [Text] / O. A. Kotsiuba // Problems of design and production of aircraft structures. – No. 3(91). – 2017. – Pp. 7–14. – ISSN 1818-8052.
- [5] Kotsiuba O. A. Formation of efficiency of technological preparation stage of production of civil aircrafts' aggregates [Text] / O. A. Kotsiuba // Aviation and space technology and technology. – No. 2(137). – 2017. – Pp. 60–70. – ISSN 1727-7337.
- [6] Kotsiuba O. A. Analysis of the efficiency of constructive-technological solutions of aggregates of aircraft of the transport category from polymeric composite materials of the State Enterprise «Antonov» and the technologies that realize them

- [Text] / O. A. Kotsiuba // Problems of design and production of aircraft structures. – No. 2(86). – 2016. – Pp. 7–14. – ISSN 1818-8052.
- [7] Kotsiuba O. A. Formation of the criterion of efficiency of designing civil aircraft designs from polymer composites at the stage of their composition selection [Text] / O. A. Kotsiuba // Problems of design and production of aircraft structures. – No. 3(87). – 2016. – Pp. 19–31. – ISSN 1818-8052.
- [8] Kotsiuba O. A. Formation of the components of a complex criterion for the efficiency of designing aggregates of civil aircraft from polymer composites at the main stages of their creation [Text] / O. A. Kotsiuba // Problems of design and production of the design of aircraft. – No. 4(88). – 2016. – Pp. 22–36. – ISSN 1818-8052.
- [9] Korol V. N. About some key components of the problem of organizing and realizing the modern pilot production of passenger and transport aircraft in Ukraine [Text] / V. N. Korol // Problems of design and production of the design of aircraft. – No. 4(31). – 2002. – Pp. 6–18. – ISSN 1818-8052.
- [10] Korol V. N. Organization of the scientific and production base for creating structures from the CM [Text] / V. N. Korol // Aviation and space technology and technology – 3(38). – 2003. – Pp. 108–114. – ISSN 1727-7337.
- [11] Kotsiuba O. A. Synthesis of the system of forecasting the volumes of application of polymer composite materials in domestic civil aircraft for long-term periods [Text] / O. A. Kotsiuba, A. V. Kondratiev // Problems of design and production of the design of aircraft. – No. 2(90). – 2017. – Pp. 7–23. – ISSN 1818-8052.
- [12] Yanche E. Prediction of scientific and technical progress [Text] / E. Yanch. – M.: Progress, 1970. – 213 p.
- [13] Yampolsky S. M. Problems of scientific and technical forecasting [Text] / S. M. Yampolsky, F. M. Khilyuk, V. A. Lisichkin. – M.: Economics, 1969. – 143 p.
- [14] Cleland D. I. Systems analysis and project management [Text] / D. I. Cleland, W. R. King – New York: McGraw-Hill, 1983. – 490 p.
- [15] Dobrov G. M. Forecasting and evaluation of scientific and technical innovations [Text] / G. M. Dorov, A. A. Korenniy. – K.: Naukova Dumka, 1989. – 276 p.
- [16] Gmshinsky V. G. Engineering forecasting [Text] / V. G. Gmshinsky. – M.: Energoizdat, 1982. – 208 p.
- [17] Gvozdev M. A. Prediction of technically possible amount of polymer composite material adoption in aircraft structures [Text] / M. A. Gvozdev, A. V. Kondratiev // Technological systems. – No. 1(74). – 2016. – Pp. 7–13. – ISSN 2074-0603.
- [18] Cleland D. I. Systems analysis and project management [Text] / D. I. Cleland, W. R. King. – New York: McGraw-Hill, 1983. – 490 p.
- [19] Design of aircraft / S. M. Yager, V. F. Mishin, N. K. Liseitsev and others. – M.: Mechanical Engineering, 1983. – 616 p.
- [20] Torenbeek E. Synthesis of Subsonic Airplane Design [Text] / E. Torenbeek. – Delft University Press, 1982. – 598 p.