

УДК 629.7.002:658.5

А.А. Коцюба,
А.В. Кондратьев, д-р техн. наук

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

Во всем мире постоянный рост требований эксплуатантов гражданских воздушных судов к повышению их летно-технических характеристик побуждает создателей самолетов этого класса искать эффективные способы и средства решения этой проблемы. Мировой и отечественный опыт свидетельствует о том, что среди различных путей ее решения в последние десятилетия важным является рост объема применения в конструкциях воздушных судов транспортной категории (ВС ТК) полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Этот объем перманентно нарастает, начиная с семидесятых годов прошлого столетия [1 – 8 и др.]. К настоящему времени в самолетах корпораций Boeing и Airbus ПКМ составляют по массе 50 % конструкции планера [9 – 11].

Увеличивается и доля высоконагруженных композитных агрегатов ВС ТК из ПКМ, предопределяющих несущую способность, надежность и ресурс самолета. Известно [11], что если объем применения ПКМ в ВС ТК превысит некоторое (критическое) значение, то проявляется «каскадный» эффект снижения их массы, что позволяет при сохранении тактико-технических характеристик самолета уменьшить мощность двигателей, снизить их собственную массу, уменьшить расход топлива, снизить его запас на борту, снизить нагрузки на шасси и их массу. Это в свою очередь может позволить изменить аэродинамику судна, снизить коэффициент аэродинамического сопротивления и в конечном итоге реализовать повторно описанный выше цикл снижения массы самолета.

Несмотря на хорошо известные преимущества ПКМ, многократно приводимые в многочисленных статьях, монографиях [13 – 15] и другой справочной литературе [16 – 18 и др.], доля их применения в парке эксплуатирующихся ВС ТК достаточно скромна.

Так, по данным углубленного анализа, проведенного авторами [12], процент применения ПКМ в конструкции эксплуатирующихся в гражданской авиации РФ коммерческих самолетов колеблется в основном от 1 до 20%, при этом композиты используются в основном в конструкции механизации крыла, агрегатов оперения, пилонов, обтекателей и залонжеронных панелей, полов, створок ниш шасси и т.д. (табл. 1).

Средневзвешенное распределение использования ПКМ в каждом сегменте и классе ВС ТК представлено в табл. 2 (по парку в целом, по отечественным ВС (в эту группу условно включены самолеты Украины ГП «Антонов»), а также для самолетов иностранного производства).

Таблица 1 – Использование полимерных композиционных материалов в конструкции самолетов транспортной категории

Элементы конструкции	Типы ВС	Доля агрегатов из ПКМ от массы конструкции ВС
КМ используются в незначительной степени во вспомогательной не силовой конструкции ВС (носовой обтекатель фюзеляжа, панели пола и грузовой кабины и т.д.)	Ан-28, Ан-38, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Ан-32, Ту-134, Ту-154, В-737, В-747, В-757	до 5%
КМ в значительной степени используются во вспомогательной несиловой конструкции ВС (панели залонжеронной части крыла и оперения, не силовые зализы, лючки, створки шасси и т.д.)	RRJ-95, Ан-74, Ил-96, Як-42, В-767, Ил-114	от 5 до 10%
КМ используются в значительной степени во всех не силовых элементах конструкции ВС, а также в некоторых элементах управления (руль высоты, руль направления, элероны и т.д.) и силовой конструкции оперения	Ан-124, Ан-140, Ан-148, Ту-204, Ту-214, А-318, А-319, А-320, А-321, А-330, В-777	от 10 до 15%
Дополнительно к предыдущей категории, некоторые элементы силовой конструкции крыла и иногда фюзеляжа изготовлены с применением КМ	ATR-42, ATR-72	от 15 до 25%

Таблица 2 – Распределение средневзвешенной доли использования ПКМ в конструкции воздушных судов для каждого класса и сегмента, %

Сегмент и класс ВС	По парку	По отечественным ВС	По иностранным ВС
Широкофюзеляжный магистральный пассажирский самолет	6,7	5,5	6,9
Узкофюзеляжный магистральный пассажирский самолет	9,7	8,8	9,9
Региональный турбовинтовой пассажирский самолет	6	2,1	14,3
Региональный реактивный пассажирский самолет	6,1	4,7	7,5
Грузовой самолет	5,5	5,5	-
Самолет бизнес-класса	8,5	-	8,5

С учетом численности отдельных типов ВС ТК в составе парка средневзвешенный процент использования ПКМ в конструкции эксплуатирующихся ВС составляет порядка 8,0%. При этом для самолетов производства России и Украины этот показатель составляет 5,6%, а для самолетов иностранного производства – 9,3% [12]. Ниже в таблицах приведены полученные на основе статистических данных [12] процентные доли применения ПКМ в широкофюзеляжных (табл. 3), узкофюзеляжных (табл. 4), магистральных ВС ТК, региональных реактивных и турбовинтовых (табл. 5), а также грузовых отечественных и иностранных ВС ТК (табл. 6).

Таблица 3 – Доля применения ПКМ в широкофюзеляжных магистральных пассажирских самолетах

Количество мест	Тип ВС	% ПКМ	Количество мест	Тип ВС	% ПКМ
Свыше 350	A-380	23	280-350	B-767-300	6
	B-747-8, A-340-300/-500	10		A-330-200	11
	B-777-300, B-777-200, A-330-300, A-340-600, Фрегат Экоджет 300	15		A-340-200	15
	B-787	50	220-280	B-767-200ER	6
	A-350XWB	53		B-767-200	6
	B-747	3			
	Ил-96	6			

Таблица 4 – Доля применения ПКМ в узкофюзеляжных магистральных пассажирских самолетах

Количество мест	Тип ВС	% ПКМ	Количество мест	Тип ВС	% ПКМ
170 -220	Ту-204СМ	14	110-140	A-319	8
	МС-21	33		A-318	15
	Ту-204, Ту-214	14		A-320 _{neo}	11
	Ил-62	3		B-737MAX	15
	A-321	11		B-737-200/-500	10
	B-737-800/-900	10		B-737-500/-600	10
	A-321 _{neo}	11		Як-42	5
	B-737MAX	15		Ту-154	3
	B-757-200	3		Ан-158	6
140-170	Ту-204-300	14	85-110	ERG-190/-195	15
	МС-21	33		CRG-900/-1000	25
	B-737-700	10		ARG-21	10
	A-320	11		Ту-134	3
	B-737MAX	15		Fokker-100	13
	B-737-300/-400	10		BAe-125	15
	A-320 _{neo}	11		RRJ-95/-100	15

Таблица 5 – Доля применения ПКМ в региональных реактивных и турбовинтовых пассажирских самолетах

Реактивные ВС			Турбовинтовые ВС		
Количество мест	Тип ВС	% ПКМ	Количество мест	Тип ВС	% ПКМ
60-85	Ан-148	14	60-85	ATR-72	23
	ERG-170/175	20		Dash-8-400	15
	CRG-700	16	40-60	Ан-140	10
	Fokker 70	10		ATR-42	20
	BAe-146-100	15		MA-60	24
	RJ-70	18		Dash-8-300	13
40-60	CRG-100/-200	16		SAAB 2000	25
	CRG-145	18		F-50	20
			L-410	3	
	Ан-24	2	Ан-38	2	
20-40	ERG-135	18	20-40	Ан-26	2
	328JET	15		Ан-30	2
				Ан-32	2
				Dash-8-100/-200	13
				SAAB 340	15
				Do.328	19
	Short 330/360	20			

Таблица 6 – Доля применения ПКМ в грузовых самолетах

Тонна	Тип ВС	% ПКМ	Тонна	Тип ВС	% ПКМ	
Свыше 120	В-747-8F	3	15-30	Ту-204С	14	
				МТС	8	
	F-380F	23		В-737С	5	
				A-320C	10	
60-120	Ил-96-400Т	6	8-15	Ан-74Т/ТК	8	
	В-777F	11		CN-295	10	
	A-330-200F	15		ВAе-146Q	12	
	В-747F	3		В-737-200F	5	
	MD-11F	5				
	DC-10F	3				
30-60	Ил-76-90(476)	4	4-8	Ан-140Т	10	
	В-767F	10		CN-232	15	
	F-310F	7		ATR-42F/-72F	20	
	D-757PF	5		Dash-8	12	
	Ан-70Т	8		2-4	CASA-212	15

На рис. 1 приведены результаты прогностической оценки изменения средневзвешенной доли композитов в конструкции ВС различных классов, выполненной авторами экспертным методом. Видно, что за прогнозируемый период этот показатель возрастет в 3 – 4 раза.

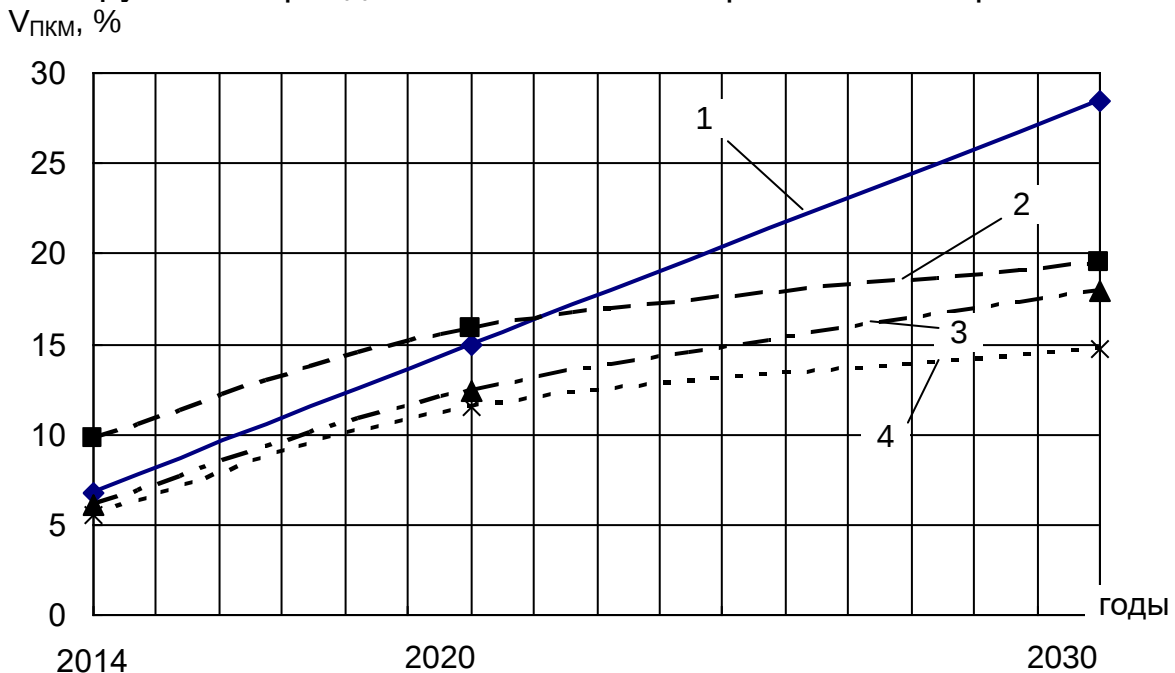


Рисунок 1 – Прогноз изменения средневзвешенной доли композитов в конструкциях воздушных судов различных классов:

1 – широкофюзеляжные магистральные; 2 – узкофюзеляжные магистральные; 3 – региональные; 4 – грузовые

Как отмечают авторы [12], представленный прогноз носит достаточно условный характер. Однако не вызывает сомнения, что он верно отражает общую тенденцию возрастания доли ПКМ в конструкции ВС ГА РФ, являющейся частью общемировой гражданской авиации. Необходимо отметить, что прогноз динамики применения ПКМ относится только к парку ВС ТК России и является заниженным относительно мирового уровня, о чем свидетельствуют точки 2015 года (по данным [3] и [11]), выпадающие из графиков.

Приводимые в источниках информации массовые доли конструкции из ПКМ не всегда достаточно информативны вследствие различной плотности композитов и металлов.

Представляется оправданным рассматривать и объемную долю конструкции из ПКМ исходя из условия

$$\frac{G_{KM}}{G_{пл}} = \frac{V_{KM} \cdot \rho_{KM}}{V_{пл} \cdot \rho_{пл}} \text{ или } \left(\frac{V_{KM}}{V_{пл}} \right) = \frac{G_{KM}}{G_{пл}} \frac{\rho_{пл}}{\rho_{KM}}, \quad (1)$$

где G_{KM} , $G_{пл}$ – масса ПКМ и масса планера ВС; ρ_{KM} , $\rho_{пл}$ – плотность ПКМ и металлического планера ВС; $V_{пл}$, V_{KM} – объем металлических конструктивных элементов и ПКМ в планере ВС.

Осредненная плотность материала планера ВС

$$\rho_{пл} = \rho_{Al} \cdot \xi_{Al} + \rho_{ст} \cdot \xi_{ст} + \rho_{Ti} \cdot \xi_{Ti}, \quad (2)$$

где ξ_{Al} , $\xi_{ст}$, ξ_{Ti} – объемная доля алюминия, стали и титана в планере, ρ_{Al} , $\rho_{ст}$, ρ_{Ti} – плотности алюминия, стали и титана.

Осредненная плотность ПКМ в планере ВС ТК

$$\rho_{ПКМ} = \rho_{КМУ} \cdot \xi_{КМУ} + \rho_{сп} \cdot \xi_{сп} + \rho_{орг} \cdot \xi_{орг}, \quad (3)$$

где $\rho_{КМУ}$, $\xi_{КМУ}$ – плотность углепластика и его объемная доля в ПКМ; $\rho_{сп}$, $\xi_{сп}$ – плотность стеклопластика и его объемная доля в ПКМ; $\rho_{орг}$, $\xi_{орг}$ – плотность органопластика и его объемная доля в ПКМ.

В 2015 году в ВС ТК осредненная доля ПКМ по массе составляла 16% [3]. В табл. 7 приведены плотности и объемные доли применяемых материалов.

Таблица 7 – Плотности и средние объемные доли материалов в ВС ТК в 2015 году

Материал	Алюминий	Сталь	Титан	Угле-пластик	Стекло-пластик	Органо-пластик
ρ , г/см ³	2,7	7,8	4,5	1,55	1,9	1,35
Объемная доля ξ	0,7	0,015	0,08	0,8	0,1	0,1

Подставив в (1) составляющие $\rho_{пл}$ из (2) и $\rho_{ПКМ}$ из (3) и их значения из табл. 7, получим осредненную объемную долю ПКМ в ВС ТК 22%, в 1,37 раз превышающую их долю по массе.

Результаты приведенного выше прогноза должны отражать в известной степени и тенденцию в динамике изменения объема применения ПКМ в отечественных ВС ТК ГП «Антонов» с поправкой на множество специфических особенностей технических, экономических и стратегических (политических) аспектов, которые необходимо учесть в комплексной системе прогнозирования не технически возможного, изложенного в [4], а реального объема применения ПКМ в ВС ТК ГП «Антонов».

Углубленный анализ и синтез состояния и подход к прогнозированию объемов применения ПКМ в ВС ТК отечественных самолетов, основанный на использовании отмеченных выше и других источников информации, позволяют утверждать, что такой прогноз должен базироваться на получивших широкое распространение теоретических принципах инженерного прогнозирования, обобщенных в [19].

Несмотря на то, что по данным [20] в зарубежной практике насчитывается более ста методов прогнозирования, все они сводятся, как отмечается в [19], к четырем основным: экстраполяции, морфологическому расчленению, моделированию и экспертных оценок.

При этом экстраполяционный метод вряд ли может быть использован для целей прогнозирования объемов применения ПКМ в отечественном самолетостроении в силу специфических особенностей его состояния в XXI столетии даже в фрагментарном виде. Три остальные метода, по-видимому, должны в том или ином виде явиться основой этого прогноза, в особенности метод экспертных оценок при всех его недостатках, отмеченных в [19] и других источниках информации.

В основе теории инженерного прогнозирования лежит выявление основных факторов и их составляющих, формирующих главный прогнозируемый признак, в качестве которого в данном исследовании выбран объем применения ПКМ в ВС ТК.

При этом метод экспертных оценок должен решать задачи:

- синтеза всех основных интегральных факторов главного признака прогноза – объема, применения ПКМ в конструкциях ВС ТК;
- установления характеристики функции изменения каждого интегрального фактора во временном периоде прогноза, в том числе численного значения этой функции в конце временного периода;
- назначения весовых коэффициентов компонент каждого инте-

грального фактора: $\alpha_i \ (i = 1, 2, \dots, n); \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1;$

- установления весовых коэффициентов вклада всех составляющих интегральных факторов в главный признак прогноза:

$\beta_j \ (j = 1, 2, \dots, k); \sum_{j=1}^k \beta_j = 1;$

- вскрытия взаимосвязи (эквивалентности) стоимостных характеристик комплексных факторов с соответствующими составляющими несущей способности ПКМ в конструкциях ВС ТК.

Результатом решения первой из сформулированных выше задач явилась синтезированная схема составляющих факторов, формирующих главный признак (рис. 2), основные компоненты которых приведены на рис. 3^{*)}. Ниже дано обоснование синтезированных факторов.

Важность государственной поддержки производства ВС ТК подтверждается принимаемыми в разных странах программами и другими актами. Так, в [21] приведены материалы по государственному обеспечению функционирования аэрокосмического комплекса США как путем непосредственного существенного бюджетного финансирования, так и организационной политической поддержкой, в том числе наличием национальной администрации по авиации и исследованию космического пространства (НАСА США).

^{*)} Порядок нумерации факторов главного признака прогнозирования не отражает их значимость, которая может быть сделана только в результате экспертных оценок.

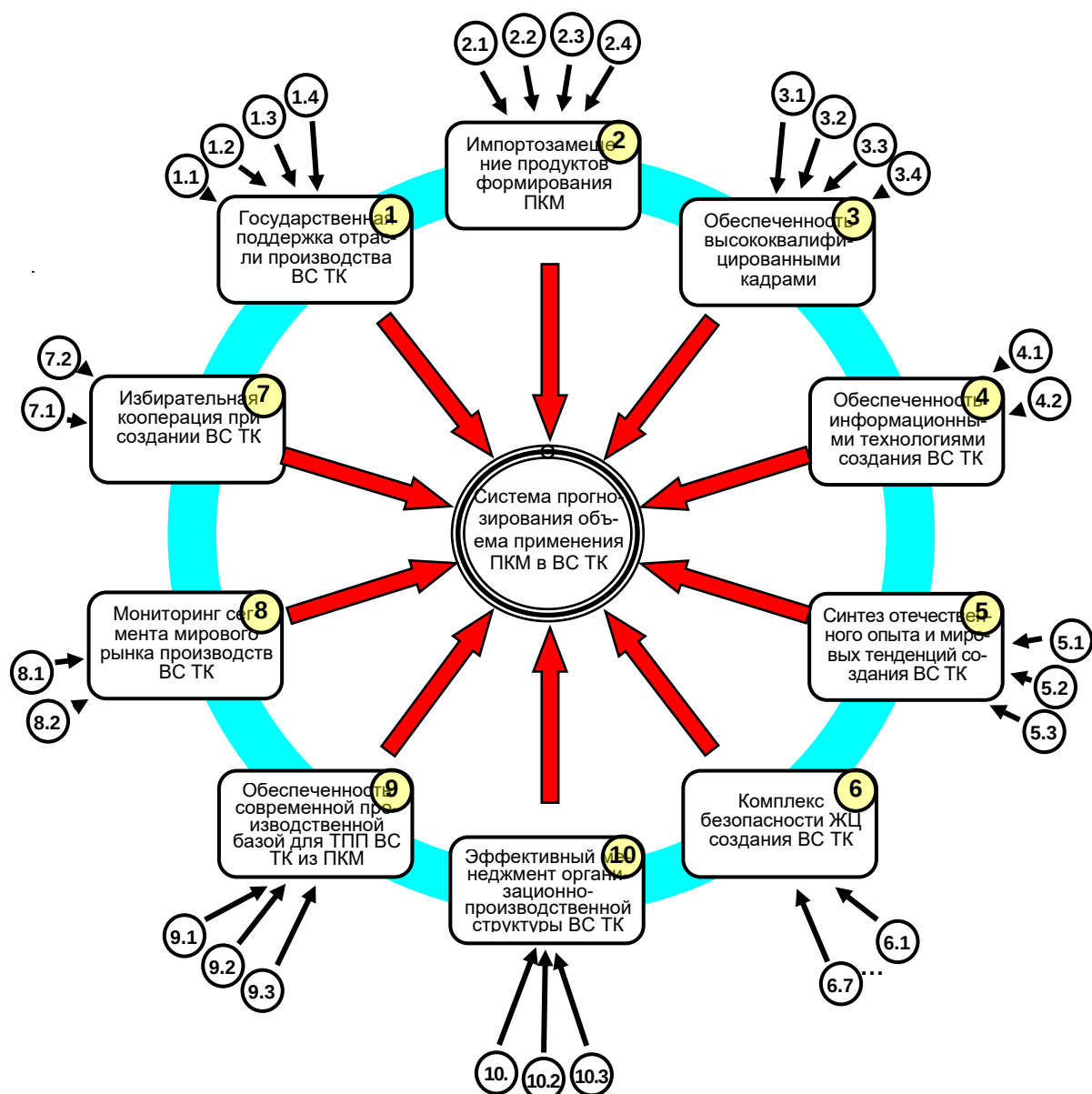


Рисунок 2 – Схема составляющих факторов, формирующих главный прогнозирующий признак – объем ПКМ в ВС ТК

В рамках сотрудничества с Украиной на основе соглашения 1994 года реализовались исследовательские и технологические программы НАСА в области гражданской авиации и космоса.

В число 14 программ входят программы по авиационной безопасности, созданию конструкций самолета, информационным технологиям и др., реализация которых позволила решить ряд вопросов по гражданской авиации [21]. Осуществляется также организация работ по проведению исследований авиационной технологии и материалов в ведущих научных центрах НАСА – Ленгли, Хемптон, Глеин (Левис), Кливленд. Государственная поддержка авиационной промышленности и авиастроения активно осуществляется и в других странах в особенности после 2000 года [22 – 24].

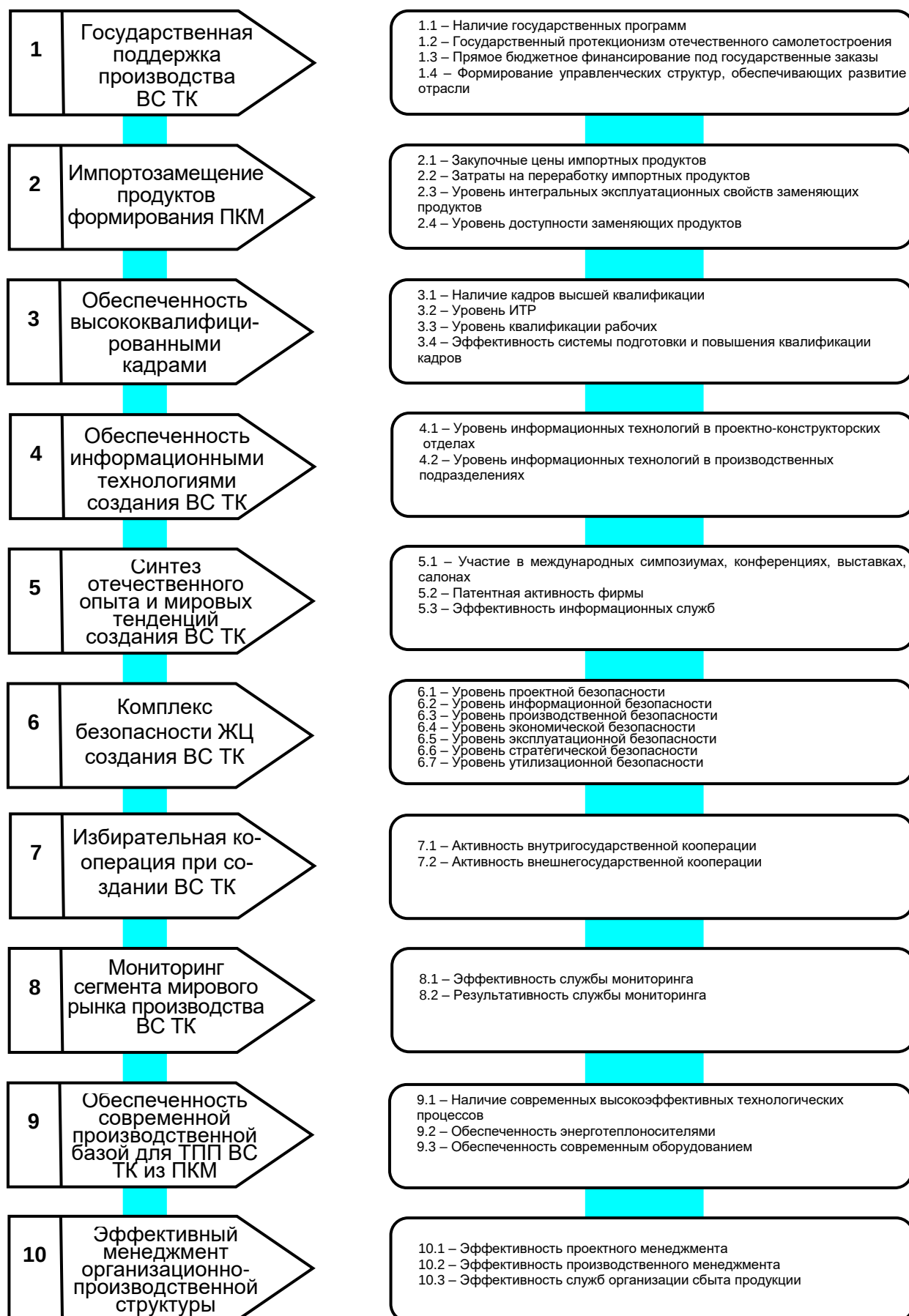


Рисунок 3 – Основные компоненты составляющих факторов, формирующих главный прогнозирующий признак – объем ПКМ в ВС ТК

На протяжении последних 10 – 15 лет в Украине была принята Государственная комплексная программа развития авиационной промышленности Украины до 2010 года [25], а также стратегия развития авиационной промышленности Украины до 2010 года [26 и др.].

Стремление к реализации этих программ несомненно стимулировало интенсивность исследований ученых, университетов страны, НАН Украины и специалистов отрасли в различных аспектах научно-технического обеспечения увеличения роста объемов внедрения ПКМ в ВС ТК [2 – 4, 27 – 40 и др.].

Анализ указанных публикаций свидетельствует о существенном влиянии факторов разных форм государственной поддержки на прямое или опосредствованное увеличение объема применения ПКМ в ВС ТК.

Фактор импортозамещения в последние годы становится все более актуальным не только в плане материалов, связующих и их компонентов, а также вспомогательных материалов, однако в этом аспекте он проявляется в четырех компонентах (рис. 3).

При этом в широком смысле под импортозамещением будем понимать не только замену отечественного сырья импортным, но и приобретение продуктов вместо одного импортера у другого по соображениям цены, качества, доступности по срокам и требуемым объемам или иным стратегическим причинам. Все эти компоненты данного фактора достаточно весомы и требуют дополнительных исследований, проводимых на ГП «Антонов», например [45, 46].

Не менее важен фактор обеспеченности предприятия создания ВС ТК, в особенности из ПКМ в силу их специфических особенностей. Все составляющие этого фактора (рис. 3) оказывают существенное влияние как на интегральные показатели качества продукции, так опосредствованно и на объем внедрения ПКМ в ВС ТК [3, 32, 33 и др.].

Фактор обеспеченности информационными технологиями и его составляющие (рис. 2) также имеют как прямое, так и косвенное влияние на анализируемый главный прогнозируемый признак, подтверждаемое публикациями [47 – 49 и др.].

Фактор синтеза отечественного опыта и мировых тенденций создания ВС ТК из ПКМ и его составляющие (рис. 3) вносят существенный вклад в проблему роста доли ПКМ в отечественные ВС ТК, что находит отражение в публикациях [2, 3, 14, 28 – 29, 34 – 38, 44 и др.].

Несколько обособленное место в системе прогнозирования объема применения ПКМ в ВС ТК занимает фактор безопасности жизненного цикла создания ВС ТК, представляющий собой комплекс составляющих, подробно описанный в нашей работе [50], который опосредствованно взаимосвязан с проблемой безопасности жизнедеятельности в производстве, конструкций из ПКМ в ряде ее аспектов [51 – 53] (рис. 3).

Седьмой фактор, включающий в себя составляющие избирательной кооперации при создании ВС ТК (рис. 3) имеет место как в мировой

авиастроительной промышленности [22 – 24, 29, 35 – 36, 38], так и в отечественной отрасли, трансформируясь с учетом особенностей ее развития особенно в последнее десятилетие и взаимодействия с другими факторами синтезируемого комплекса [28, 29, 34 – 36, 38].

Фактор мониторинга сегмента мирового рынка производства ВС ТК и его составляющие (рис. 3) прослеживаются в публикациях [2, 3, 22 – 24, 28, 36 – 38, 44 и др.]. Этот фактор косвенным образом также влияет на главный прогнозируемый признак данного исследования посредством его связей с другими факторами системы.

Фактор обеспеченности современной производственной базой для технологической подготовки производства ВС ТК из ПКМ (рис. 3) – один из превалирующих, если не определяющих потенциальные возможности роста объема применения композитов в том или ином временном интервале. Его роль и влияние неоднократно подчеркивалось сотрудниками ГП «Антонов» и УкрНИИАТ [1 – 3, 28, 29, 34, 35, 37, 44, 54]. Освещение этого фактора в реалиях последних лет состояния самолетостроительного производства в Украине не представляется весьма актуальным.

Последний фактор – эффективный менеджмент организационно-производственной структуры (рис. 2) непосредственно взаимосвязан с предыдущим и играет достаточно значимую роль в обеспечении роста объема применения ПКМ в ВС ТК Украины [55 – 57 и др.].

Таким образом, решена первая из сформулированных выше задач синтеза системы факторов прогнозирования объема применения ПКМ в ВС ТК. Остальные задачи, объединяющие основные вопросы собственно прогнозирования этого объема в различных временных периодах, ждут своего решения в ближайшее время.

Выводы

1. Проведен обзор и анализ состояния применения полимерных композитов в мировом и отечественном авиастроении и установлены тенденции его перманентного увеличения и роста доли в ответственных силовых агрегатах.

2. На основе углубленного анализа факторов, предопределяющих внедрение ПКМ, синтезирована система прогнозирования объемов использования композитов в отечественных ВС ТК на долгосрочные периоды.

3. В синтезированной системе установлены 10 взаимосвязанных основных факторов и составляющие их компоненты, проведен анализ этой системы, позволяющей в дальнейшем поступательно решать проблему долгосрочного прогнозирования этих объемов внедрения ПКМ в ВС ТК с учетом специфических условий и особенностей отечественной отрасли.

Список использованных источников

1. Балабуев, П.В. Опыт применения композиционных материалов в транспортной авиации [Текст] / П.В. Балабуев // Композиционные материалы, 1991. – С. 27 – 36.
2. Кива, Д.С. Этапы становления и начала применения полимерных композиционных материалов в авиаконструкциях отечественного назначения (1970 – 1995 гг.) [Текст] / Д.С. Кива // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 6 (113). – С. 5 – 16.
3. 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 гг.): первопричины и закономерности внедрения [Текст] / С.А. Бычков, А.А. Коцюба // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 6 (133). – С. 4 – 14.
4. Гвоздев, М.А. Прогнозирование технически возможного объема внедрения полимерных композиционных материалов в конструкциях самолетов [Текст] / М.А. Гвоздев, А.В. Кондратьев // Технологические системы. – 2016. – №1 (74). – С. 7 – 13.
5. Baker, A. Composite Materials for Aircraft Structures [Текст] / A. Baker, S. Dutton, D. Kelly. – Virginia, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., Reston, 2004. – 599 p.
6. Jose Manuel Luna Dias Composites: 30 years of continued R&D as the driving force behind aero structures progress [Текст] / SAMPE EUROPE 33th International Conference and Forum – Keynote 1. – P. 2 – 41.
7. Beral B. A-350 XWB Structures: A major Steps forward for Composite Application [Текст] / B. Beral // SAMPE EUROPE Technical Conference & Table-Top, Exhibition 2008 (SETEC 03/-08), 18-19 September 2008, Augsburg, Germany. – 2008. – P. 124 – 134.
8. Gay D. Composite Materials. Design and Application [Текст] / D. Gay, S.V. Hoa. – CRC Press, 2007. – 328 p.
9. Композиционные материалы и история их внедрения в авиационные конструкции [Текст] / Ю.М. Фейгенбаум, С.В. Бутушин, Д.Г. Божовалов, Ю.С. Соколов // Научный вестник ГосНИИГА. – М., 2015, – №7. – С. 24 – 37.
10. Хрульков, А.В. Перспектива внедрения безавтоклавных технологий для изготовления конструкционных материалов (обзор) [Текст] / А.В. Хрульков, М.М. Григорьев, Л.П. Язвенко // Тр. ВИАМ. – 2016. – №2(38) – С. 45 – 52.
11. Семин, А.В. Прогноз динамики роста объема использования композиционных материалов в конструкциях воздушных судов, эксплуатирующихся в гражданской авиации Российской Федерации [Текст] / А.В. Семин, К.А. Арепьев, Ю.М. Фейгенбаум // Научный вестник

ГосНИИГА. – 2015. – № 9. – С. 45 – 56.

12. Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении [Текст] / научн. ред. А.Г. Братухин, В.С. Богомолов, О.С. Сироткин. – М.: Готика, 2013. – 516 с.

13. Гришин, А.И. Прочность и устойчивость элементов и соединений авиационных конструкций из композитов [Текст] / А.И. Гришин, А.С. Дзюба, Ю.И. Дударев. – М.: Физматлит, 2013. – 272 с.

14. Аверичкин, П.А. Методология применения и оценка эффективности использования композиционных материалов в авиационной технике [Текст] / П.А. Аверичкин. – Ярославль: ЯГСХА, 1999. – 306 с.

15. Михайлик, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы [Текст] / Ю.А. Михайлик. – СПб: Науч. основы технологии, 2008. – 822 с.

16. Композиционные материалы [Текст]: справ. / под ред. Д.М. Карпиноса. – Киев.: Наук. думка, 1985. – 592 с.

17. Композиционные материалы: справ. [Текст] / под ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

18. Справочник по композиционным материалам [Текст]: в 2 кн. – Кн. 1.: пер. с англ. / под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – 488 с.

19. Гмошинский, В.Г. Теоретические основы инженерного прогнозирования [Текст] / В.Г. Гмошинский, Г.И. Флиорент. – М.: Наука, 1973. – 304 с.

20. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса [Текст] / Э. Янч. – М.: Прогресс, 1970. – 213 с.

21. Вельцкий, В.Н. Организация прикладных научно-исследовательских работ в аэрокосмическом комплексе США прогнозирования [Текст] / В.Н. Вельцкий // Техническая информация УкрНИИАТ 2(10). – Киев.: УкрНИИАТ, 1999 – 50 с.

22. Матвиенко, В.А. Производство пассажирских и транспортных самолетов [Текст] / В.А. Матвиенко, А.А. Щербак // Техническая информация УкрНИИАТ 1(9). – Киев.: УкрНИИАТ, 1999 – 136 с.

23. Кривов, Г.А. Производство пассажирских и транспортных самолетов в 1998 - 2000 гг. Аналитический обзор [Текст] / Г.А. Кривов, В.А. Матвиенко, А.А. Щербак. – Київ.: Техніка, 2001. – 148 с.

24. Кривов, Г.А. Мировая авиация на рубеже XX - XXI столетий: Промышленность, рынки [Текст] / Г.А. Кривов, В.А. Матвиенко, Л.Ф. Афанасьева. – Киев.: КВІЦ, 2003 – 296 с.

25. Державна комплексна програма розвитку авіаційної промисловості України до 2010 року // Затв. Постановою Кабінету Міністрів України №1665-25 від 21.01.06.

26. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії розвитку вітчизняної авіаційної промисловості на період до

2020 року» від 27.12.2008 р. №1656-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1656-2008-p>. – 01.09.2016.

27. 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.

28. Андреев, А.В. Современные конструктивно-технологические решения агрегатов авиаконструкций из полимерных композиционных материалов и их реализация на предприятиях 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.

29. 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: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2(86). – Х., 2016. – С. 7 – 14.

30. 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: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3(87). – Х., 2016. – С. 19 – 31.

31. 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: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(88). – Х., 2016. – С. 22 – 36.

32. 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.

33. Гайдачук, В.Є. Тридцять років наукової школи і проблеми створення виробів авіаційно-космічної техніки з полімерних композиційних матеріалів [Текст] / В.Є. Гайдачук, О.В. Гайдачук, Я.С. Карпов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 2(69). – С. 12 – 19.

34. Создание агрегатов самолетов из композиционных материалов – новые подходы, интегральные решения [Текст] / В.Н. Король,

А.З. Двейрин, Е.Т. Василевский и др. // Технологические системы. – 2011. – №4. – С. 32 – 35.

35. 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.

36. 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.

37. Технология безавтоклавного формования силовых конструкций планера самолета из композиционных материалов [Текст] / Г.А. Кривов, Ю.М. Тарасов, А.Г. Громашев и др. // Технологические системы. – 2009. – № 5. – С. 47 – 70.

38. 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. – 2016. – №1(74). – С. 19 – 26.

39. Карпов, Я.С. Результаты решения некоторых фундаментальных задач конструирования и проектирования изделий из композиционных материалов [Текст] / Я.С. Карпов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 7. – С. 96 – 127.

40. Карпов, Я.С. Соединения деталей и агрегатов из композиционных материалов [Текст] / Я.С. Карпов. – Харьков.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2006. – 359 с.

41. Карпов, Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: учебник [Текст] / Я.С. Карпов. – Харьков.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2010. – 768 с.

42. Оптимальное проектирование композитных сотовых конструкций: моногр. [Текст] / В.Е. Гайдачук, А.В. Кондратьев, В.В. Кириченко, В.И. Сливинский. – Харьков.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2011. – 172 с.

43. Астанін, В.В. Композиційні матеріали в конструкціях сучасних літальних апаратів [Текст] / В.В. Астанін, А.В. Хоменко, О.А. Шевченко // Вісник нац. авіац. ун-та. – 2004. – № 3. – С. 46 – 52.

44. Забашта, В.Ф. Техническая подготовка производства конструкций из композиционных материалов [Текст] / В.Ф. Забашта. – Київ.: Техніка, 1993. – 147 с.

45. Исследование характеристик металлофторопласта различных производителей для элементов авиационных конструкций [Текст] / С.А. Бычков, И.Г. Лавренко, О.Ю. Нечипоренко и др. // Открытые инфор-

мационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 59. – Х., 2013. – С. 343 – 353.

46. Состояние вопроса и перспективы применения МФП новых производителей в узлах трения самолетов [Текст] / С.А. Бычков, И.Г. Лавренко, О.Ю. Нечипоренко и др. // Технологические системы. – 2014. – № 4(69). – С. 9 – 21.

47. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса [Текст] / под общ. ред. А.Г. Братухина. – Київ.: Техніка, 2001. – 728 с.

48. CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия в авиастроении [Текст] / А.Г. Братухин, Ю.В. Давыдов, Ю.С. Елисеев и др.; под ред. А.Г. Братухина. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 304 с.

49. Бычков, С.А. Концепция развития компьютерных интегрированных технологий в процессе создания авиационной техники [Текст] / С.А. Бычков, А.Г. Гребеников // Технологические системы. – 1999. – №. 1. – С. 60 – 67.

50. Категория безопасности как элемент эффективности отечественных гражданских самолетов [Текст] / М.Н. Бабенко, А.В. Гайдачук, А.В. Кондратьев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 1(89). – Х., 2017. – С. 7 – 15.

51. Гайдачук, А.В. Проблемы безопасности жизнедеятельности в производстве конструкций из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.В. Гайдачук // Тр. междунар. конф. «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов – 21 век». – М.: МГУ, 2001. – С. 646 – 651.

52. Гайдачук, А.В. Концепция безопасной технологии производства и реализации основных этапов жизненного цикла летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.В. Гайдачук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 11. – Харьков, 2002. – С. 130 – 136.

53. Гайдачук, А.В. О концепции создания интегрированной системы прогнозирования и обеспечения безопасности жизнедеятельности в информационном комплексе подготовки и управления машиностроительным производством [Текст] / А.В. Гайдачук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 12. – Х., 2002. – С. 85 – 92.

54. Король, В.Н. Научные основы организации современного и перспективного производства пассажирских и транспортных самолетов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.22 / Король Владимир Николаевич; Авиаци-

онный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова (АНТК «Антонов»). – Киев., 2003. - 391 с.

55. Кривов, Г.А. Пути совершенствования авиационного производства [Текст] / Г.А. Кривов // Технологические системы. – 1999. – №. 1. – С. 7 – 11.

56. Оборонно-промышленный комплекс Украины – современное состояние и реструктуризация [Текст] / В.П. Горбулин, А.С. Довгополый, О.И. Приходько и др. // Технологические системы – 2001. – № 2(8). – С. 5 – 20.

57. Кривов, Г.А. Возможные трансформативные модели корпоративных производственных структур украинских предприятий наукоемкого машиностроения [Текст] / Г.А. Кривов, К.О. Зворыкин // Технологические системы. – 2003. – № 4(20). – С. 5 – 11.

Поступила в редакцию 13.06.2017.

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