

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ОБЪЕМОВ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В КОНСТРУКЦИЯХ АГРЕГАТОВ САМОЛЕТОВ

Введение

При создании летательных аппаратов определяющим принципом их совершенства является максимальная весовая отдача применяемых конструкционных материалов, оцениваемая удельными характеристиками прочности и жесткости, сохраняемыми в условиях эксплуатации. Высокая стоимость самих конструкционных материалов, обеспечивающих потребную весовую отдачу, а также экономичность их переработки в изделие, являются вторым определяющим критерием их эффективности.

В связи с этим рост функциональной отдачи летательного аппарата сопровождается увеличением объема применения композиционных материалов [1 – 12], а также материалов порошковой металлургии, роль которых заметно возрастает вследствие возможности реализации ими таких уникальных свойств, которые в принципе не могут быть достигнуты при традиционных технологиях металлургического производства [13 – 20].

Возможности традиционных технологических методов близки к исчерпанию и дальнейшее совершенствование материалов предполагает создание специфических неравновесных структур. Создание материалов с такой структурой стало возможным также благодаря развитию порошковой металлургии. При этом появление большого числа новых технологий в порошковой металлургии связано именно с потребностями авиации и космонавтики [8].

Порошковая металлургия позволяет не только решить проблему получения жаропрочных сплавов с высоким содержанием легирующих элементов, но и обладает большими возможностями для снижения стоимости сплавов благодаря формованию заготовок, близких по конфигурации к готовому изделию. При традиционном производстве деталей из жаропрочных сплавов масса исходной заготовки нередко в 15 раз превышает массу готового изделия. Это означает, что в процессе механической обработки образуется большое количество дорогостоящей стружки, требующей дополнительной переработки [19].

Методы порошковой металлургии позволяют использовать наиболее тугоплавкие металлы (а также тугоплавкие химические соединения) для получения конструкционных и функциональных материалов (жаростойких, электротехнических, тяжелых, псевдосплавов и так далее) при температурах, гораздо более низких, чем температуры их плавления [20].

Основная масса «летающих» материалов – это легкие (на основе титана, алюминия, магния, бериллия) и специальные сплавы.

Титановые сплавы обладают уникальной комбинацией высоких прочностных свойств, малой плотностью его и хорошей коррозионной стойкостью. Основным направлением развития титановой науки сегодня является расширение области применения титана за счет разработок новых экономичных технологий, обеспечивающих значительное снижение стоимости как самого металла, так и изделий из него по сравнению с уже существующими подходами. Существенно снизить стоимость титановых изделий позволяют методы порошковой металлургии, в частности, метод смесей порошковых компонентов, при котором к порошку титановой основы легирующие элементы добавляют в виде порошков металлов или лигатур [21].

Революция в порошковой металлургии титана произошла после освоения гранульной металлургии, которая при сохранении экономических показателей классической порошковой металлургии (*КИМ* $\approx 90\%$) обеспечивает получение изделий, вполне сравнимых по качеству с литыми и деформируемыми деталями [22]. Поэтому новая порошковая металлургия перспективна для получения ответственных деталей из титановых сплавов для авиационной техники [23]. Разработаны гранулируемые алюминиевые сплавы, отличающиеся низким ТКЛР, высокой жаропрочностью и другими свойствами, что обуславливает возможности их широкого применения в авиационной технике.

По сравнению с серийными аналогами гранулируемые магниевые сплавы имеют более высокие прочностные свойства и отличаются большей экономичностью производства полуфабрикатов, что в сочетании с низкой массой делает их весьма привлекательными для использования в самолетостроении.

К важнейшим материалам, применяемым в летательных аппаратах, относятся материалы триботехнического назначения (фрикционные и антифрикционные). С помощью методов порошковой металлургии разработаны материалы для узлов трения, работающие в самых разнообразных условиях: в присутствии смазки и без нее, в воздушной среде и вакууме, при высоких скоростях и повышенных температурах, в коррозионных средах и так далее [24].

Возрастающие потребности авиационной и ракетно-космической техники, где имеются узлы трения с необычными и экстремальными параметрами работы, подтверждают эффективность применения в них также и спеченных антифрикционных материалов [24].

Спеченные материалы фрикционного назначения впервые были предложены в 1929 году. При этом первым потребителем спеченных фрикционных накладок была авиационная промышленность [25]. В тормозах посадочных устройствах современных самолетов применяют фрикционные материалы на основе керметов. Использование таких ма-

териалов помимо восприятия больших динамических нагрузок уменьшает массу и объем конструкции [26].

Предпосылки инженерного прогнозирования объемов внедрения порошковых конструктивных элементов (ПКЭ) в гражданских самолетах (или критерии реализуемости объемов) предопределяются последовательностью наличия ряда факторов: (рис. 1).

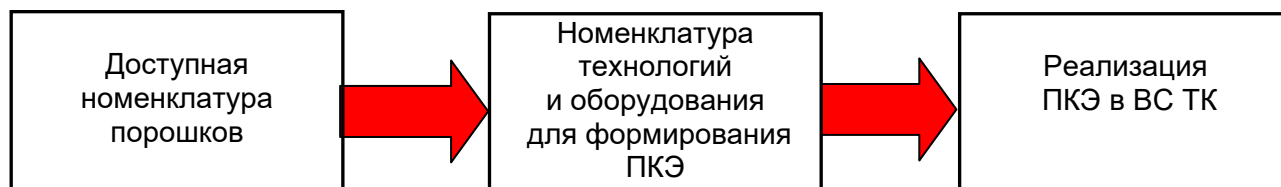


Рисунок 1 – Основные блоки требований, характеризующих предпосылки к инженерному прогнозированию объемов внедрения ПКЭ в ВС ТК

Действительно, отсутствие доступной номенклатуры порошков исключает саму возможность создания какого либо объема внедрения ПКЭ на предприятиях, создающих самолеты: проектирующих и изготавливающих. Однако для создания ПКЭ необходима номенклатура соответствующих технологий и оборудования [13, 15]. Этот блок всегда уже предыдущего и следовательно ограничивает возможный объем внедрения ПКЭ. Наконец, потребность организации, создающей самолеты, должна быть ориентирована на обеспечение именно ПКЭ экономической целесообразности их внедрения, обеспечивающей достижение изделием соответствующего уровня летно-технических характеристик. Без этой потребности отсутствует такая целесообразность в росте объемов их внедрения.

Таким образом методология прогнозирования объема внедрения ПКЭ должна включать в себя все эти составляющие требований предпосылок.

Инженерному прогнозированию эффективных объемов применения материалов порошковой металлургии в конструкциях агрегатов отечественных гражданских самолетов при наличии требований (рис. 1) должно по-видимому предшествовать:

1. Установление теоретически предельных относительных объемов применения материалов порошковой металлургии в ВС ТК.
2. Распределение объемов порошковых материалов (ПМ) по деталям и агрегатам разного назначения:
 - триботехнического;
 - силового;
 - вспомогательного (типа интерьера) для экономии массы литейных и штамповочных материалов.

3. Получение информации о начальном периоде внедрения ПКЭ в ВС ТК.

Революционным этапом в интенсификации роста объема внедрения ПКЭ в ВС ТК явились продуктивные технологии производства деталей самолетов из порошковых материалов на 3D–принтерах. Начало этого этапа по-видимому можно отнести к 2014-2015 гг., что подтверждается информацией ряда последних источников. В частности в [27] отмечается, что «Boing уже сейчас ежегодно изготавливает 22 000 деталей из 300 наименований для десяти военных и коммерческих самолетов по аддитивным технологиям, а компания General Electric считает, что через 5 лет половина деталей ГТД будет сделана по аддитивным технологиям».

В [28] сообщается, что Airbus впервые установил 3D–печатные титановые детали на серийные самолеты. Там же приведена информация, что Даан Керстен – соучредитель компании Additive Industries, разрабатывающей комплексные промышленные системы MetalFAB1 и активно сотрудничающей с Airbus отметил, что руководство компании стремится к такому уровню, где половина деталей самолетов будет изготавливаться на 3D–принтерах. В мае 2016 года Airbus оформил патент, рассматривающий 3D–печать несущих конструкций самолетов целиком [28]. Эти и другие факты свидетельствуют об актуальности анализа проблемы инженерного прогнозирования рациональных объемов внедрения ПКЭ в отечественных ВС ТК и формировании в первом приближении принципиальной схемы системы этого прогнозирования.

Постановка и решение задачи

В [11] синтезирована блок-схема состава компонент факторов и их составляющих, формирующих главный признак прогнозирования объемов внедрения ПКМ в агрегатах отечественных ВС ТК. В синтезированной блок-схеме системы 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 с учетом специфических условий и особенностей отечественной отрасли (рис. 2).

Анализ этой блок-схемы показывает ее практически полную применимость и к задаче прогнозирования объемов внедрения порошковых КЭ в отечественных гражданских самолетах, что позволяет включить ее как одну из определяющих в формируемый комплекс прогнозирования рационального объема внедрения ПКЭ.

Государственная поддержка авиационной промышленности и авиастроения активно осуществляется и в других странах в особенности после 2000 года [29]. На протяжении последних 10 – 15 лет была принята Государственная комплексная программа развития авиационной промышленности Украины до 2010 года [30], а также стратегия развития авиационной промышленности Украины до 2020 года [31] и др.

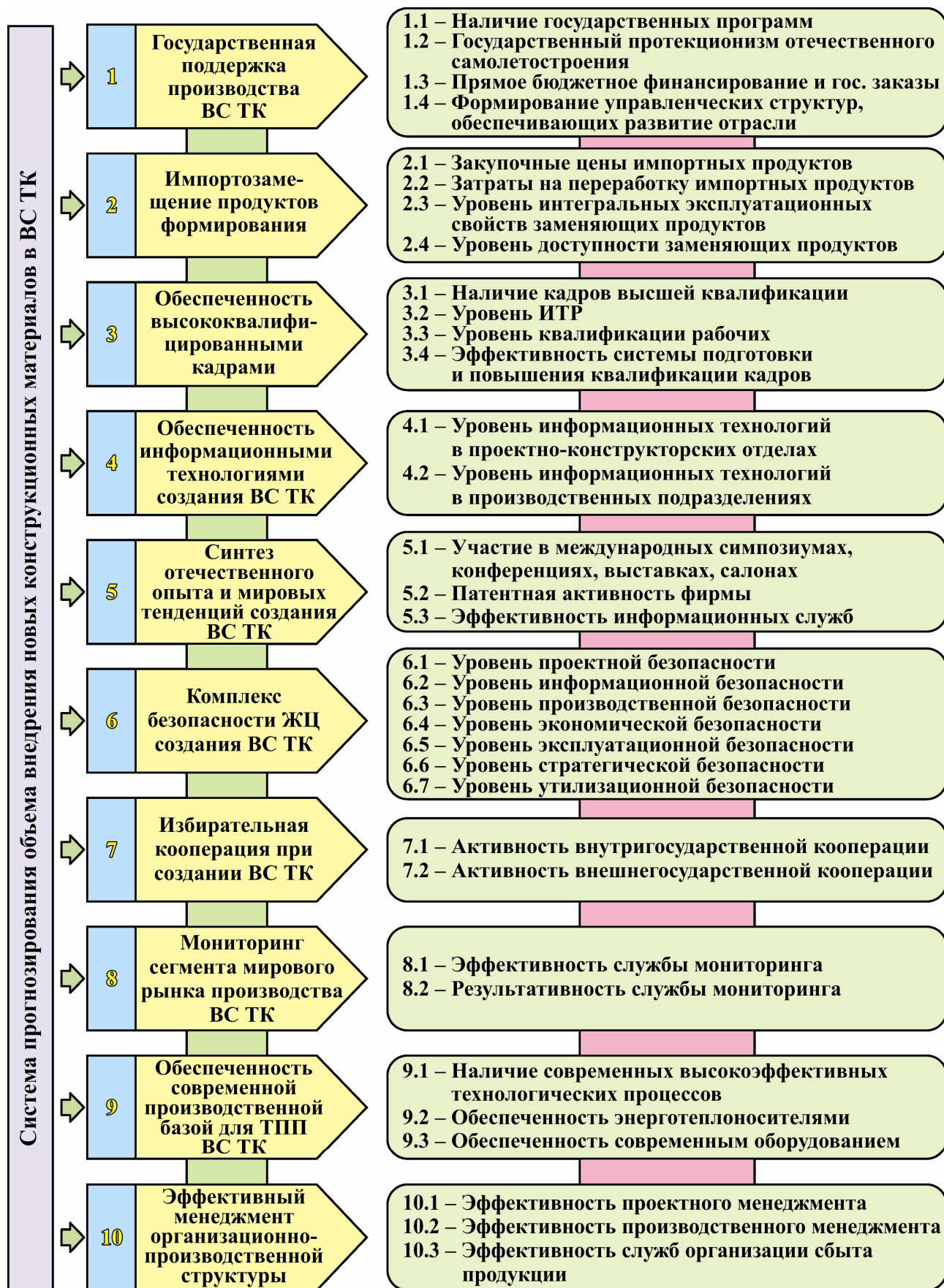


Рисунок 2. – Блок-схема системы факторов, формирующих главный прогнозирующий признак – объем ПКМ в ВС ТК

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, 10, 32 – 37].

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. 2). 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 поставки и требуемым объемам или иным стратегическим причинам. Все эти компоненты данного фактора достаточно весомы и требуют дополнительных исследований, проводимых на ГП «Антонов».

Не менее важен фактор обеспеченности предприятия создания ВС ТК, в особенности из ПКЭ в силу их специфических особенностей. Все составляющие этого фактора (рис. 2) оказывают существенное влияние как на интегральные показатели качества продукции, так опосредствованно и на объем внедрения ПКЭ в ВС ТК [2, 3] и др.

Фактор обеспеченности информационными технологиями и его составляющие (рис. 2) также имеет как прямое, так и косвенное влияние на анализируемый главный прогнозируемый признак, подтверждаемое публикациями [40 – 41].

Фактор синтеза отечественного опыта и мировых тенденций создания ВС ТК из ПКМ и его составляющие (рис. 2) вносят существенный вклад в проблему роста доли ПКМ в отечественные ВС ТК, что находит отражение в публикациях [2, 22, 33, 38].

Несколько обособленное место в системе прогнозирования объема применения ПКЭ в ВС ТК занимает фактор безопасности жизненного цикла создания ВС ТК, представляющий собой комплекс составляющих, подробно описанный в работе [39], который опосредствованно взаимосвязан с проблемой безопасности жизнедеятельности в производстве конструкций из ПКМ в ряде ее аспектов [42].

Седьмой фактор, включающий составляющие избирательной кооперации при создании ВС ТК (рис. 2) имеет место как в мировой авиастроительной промышленности [20, 43 – 45], так и в отечественной отрасли, трансформируясь с учетом особенностей ее развития особенно в последнее десятилетие и взаимодействия с другими факторами синтезируемого комплекса [33].

Фактор мониторинга сегмента мирового рынка производства ВС ТК и его составляющие (рис. 2) прослеживается в публикациях [2, 22, 29, 44] и др. Этот фактор косвенным образом также влияет на главный прогнозируемый признак объемов внедрения ПКЭ посредством его связей с другими факторами системы.

Фактор обеспеченности современной производственной базой для технологической подготовки производства ВС ТК из ПКЭ (рис. 2) один из превалирующих, если не определяющих потенциальные возможности роста объема применения порошковых материалов в том или ином временном интервале. Его роль и влияние неоднократно подчеркивалось сотрудниками ГП «Антонов» и УкрНИИАТ [2, 32 – 33, 46]. Освещение этого фактора в реалиях последних лет состояния самолетостроительного производства в Украине 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 ПКЭ в ВС ТК Украины [47] и др.

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

Не менее важной составляющей этого комплекса представляется блок основных целей прогнозирования ПКЭ, сформулированных нами в [47]. Несмотря на то, что в [47] они сформулированы для частного случая ПКЭ триботехнического назначения, они в полной мере справедливы и для всего класса этих конструкций:

- Φ_1 – снижение стоимости порошковых материалов;
- Φ_2 – снижение производственных затрат на изготовление порошковых деталей;
- Φ_3 – увеличение ресурса и надежности авиаконструкций путем повышения функциональных эксплуатационных характеристик материалов;
- Φ_4 – импортозамещение материалов;
- Φ_5 – повышение производственной безопасности жизнедеятельности, охраны труда и выполнение экологических требований к культуре производства.

Первичной предпосылкой внедрения ПКЭ в гражданских самолетах явилось по видимому стремление к существенному снижению невосполнимых потерь дорогостоящих конструкционных материалов в виде отходов, возникающих в процессе технологической переработки заготовок литьевых и штампованных полуфабрикатов в готовые детали, т.е. повы-

суть КИМ до 90...95% [22]. Таким образом увеличение КИМ, стимулирующее в итоге снижение стоимости конструкционных материалов φ_1 явилось первой целью использования ПКЭ в ранжировании этих целей.

По видимому второй в ранжировании целей явилось снижение производственных затрат путем изготовления ПКЭ по сравнению с затратами на реализацию традиционных технологий по переработке литьевых и штампованных заготовок в готовые изделия φ_2 .

Третьей по значимости целью использования ПКЭ явилось стремление к увеличению ресурса и надежности авиаконструкций путем повышения эксплуатационных характеристик материалов φ_3 , так как ПКЭ в значительной степени снижают или полностью исключают структурные дефекты, являющиеся основной причиной снижения ресурса и надежности изделия, что особенно важно для силовых КЭ.

Четвертой целью внедрения ПКЭ является относительно большие возможности импортозамещения конструкционных материалов, что расширяет маневренность отечественной промышленности, повышая стабильность производства независимо от специфических изменений мирового рынка материалов φ_4 .

Наконец, последней пятой целью внедрения ПКЭ являются заложенные во многих технологических процессах возможности, обеспечивающие повышение производственной безопасности жизнедеятельности, охраны труда и выполнения экономических требований к культуре производства φ_5 .

Таким образом ранжирование целей внедрения ПКЭ в гражданских самолетах реализуется рядом их значимости:

$$a_1\varphi_1 \rightarrow a_2\varphi_2 \rightarrow a_3\varphi_3 \rightarrow a_4\varphi_4 \rightarrow a_5\varphi_5. \quad (1)$$

Численные значения коэффициентов значимости этого ряда a_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) могут существенно изменяться в соответствии с их экспертными оценками для анализа конкретных комплексных производственных условий внедрения ПКЭ с позиций государства, отрасли, конкретного предприятия (политических, экономических, социальных и др.). Однако и синтезированная схема факторов и ранжированная таблица целей прогнозирования объемов применения ПКЭ требуют определения некоторых рангов значимости входящих в них параметров для конкретных условий, при которых осуществляется прогнозирование.

Установления таких рангов значимости любого из входящих параметров информации можно осуществить с помощью генеральных определительных таблиц (ГОТ), отражающих систему требований на новые объекты техники или технологические разработки [49 – 50] как отмечается в [48]. Источник информации, привлекаемый для прогноза, сопоставляется с ГОТ и на этой основе оценивается его значимость. Проце-

дура сопоставления конкретного источника информации с ГОТ подвергает документ, используемый при прогнозировании, своеобразной проверке на перспективность [49 – 50].

Даже из такого краткого определения смысла ГОТ вытекает ее принципиальная значимость в инженерном прогнозировании, ибо от качества составления ГОТ зависит содержание и достоверность прогноза. В связи с этим уточним требования, предъявляемые к составлению ГОТ.

В широком смысле ГОТ представляет собой обобщенную сводку технических требований на прогнозируемые объекты техники, технические комплексы и направления. Она составляется по совокупности всей циркулирующей в обращении информации для каждой конкретной области прогнозирования в соответствии со специфическими особенностями, характерными для этой области. Переносить определительную таблицу из одной области прогнозирования в другую без должного обоснования подобной операции нельзя, так как это может привести к существенным ошибкам при прогнозировании.

В узком смысле ГОТ представляется в виде нормированной таблицы, позволяющей преобразовать информацию, содержащуюся в техническом документе, в формализованные оценки. Минимальные оценки, представленные в ГОТ, соответствуют нулевой новизне, а максимальные относятся к техническим решениям, доказанным теоретически и экспериментально, хотя, быть может, еще не внедренным в практику.

ГОТ целей прогнозирования объемов внедрения ПКС по видимому идентична приведенной в [53] для прогнозирования объемов внедрения ПКМ в ВС ТК (табл. 1).

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, позволяющего преобразовать содержащиеся в источниках информации данные в формализованные оценки. Уровни реализации устанавливаются экспертами по пятибалльной шкале.

Возвращаясь к описанной выше схеме факторов, формирующих главный признак, отметим, что порядок синтезированных факторов рис. 2. не определяет их важность (значимость) в аспекте вклада в рост объема ПКЭ в конструкции ВС ТК при его прогнозировании.

Для установления значимости каждого фактора Φ_i ($i = 1, 2, \dots, 10$) обратимся к формуле

$$\Phi_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^{10} r_i}. \quad (2)$$

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

$$r_i = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^k r_{ij}}, \quad (3)$$

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

Значение r_{ij} определяется по ГОТ (табл. 1) экспертом или экспертной группой, выбор которой производится в соответствии с теориями экспертных оценок [51 – 52].

Таблица 1 – 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	1,5...2
3	Средний уровень реализации фактора (составляющей)	3	2,5...3
4	Высокий уровень реализации фактора (составляющей)	4	3,5...4
5	Реализация фактора (составляющей) практически полная	5	4,5...5

Возможно два уровня установления ранга (весомости) каждого фактора: приближенный и уточненный. В первом случае ранг фактора определяется по формуле (2), в которой его балл находят по ГОТ таблицы. Во втором случае используется формула (3), в которой, как указано выше, балл r_{ij} определяют по ГОТ, а затем окончательный ранг факторов вычисляют по формуле(2).

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 ПКЭ 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 ПКЭ в конструкции ВС ТК в конце прогнозируемого периода.

В систему прогнозирования рациональных объемов внедрения ПКЭ в ВС ТК должны включаться банк источников информации для прогнозирования и период планируемого прогнозирования, значимость которых предварительно профильтрована экспертными оценками посредством ГОТ.

Источники информации в подавляющих случаях носят непараметрический характер, требующий их формализации путем преобразования к количественным (численным) параметрам посредством соответствующих экспертных оценок в рамках ГОТ. Исходные параметрические виды информации, как правило, содержатся в патентах, статьях, интернетных ресурсах, материалах СМИ (журналах, газетах, телепередачах) и др. Частично параметрическая информация имеет место в диссертациях, монографиях, материалах научных конференций, симпозиумах. Параметрические источники информации составляют небольшую часть от общего объема.

Не менее значимым в системе является блок выбора периода прогнозирования, способом определения которого посвящены работы многочисленных отечественных и зарубежных авторов, краткий обзор и анализ которых приведен в монографиях В.Г. Гмошинского [49 – 50].

Выбор и обоснование рационального периода прогнозирования зависит от ряда факторов: целей прогнозирования, системы факторов, формирующих главный признак прогнозирования, насыщения банка источников прогнозирования.

Отмечается два основных способа выбора периода прогнозирования: экспертный, применяемый в условиях малого объема информации об объекте при использовании двух групп экспертов – «оптимистов» и «пессимистов», дающих соответственно заниженный (оптимистический) период прогноза $T_{опт}$ и завышенный (осторожный) период $T_{осм}$.

Тогда реалистический период прогнозирования T определится формулой [52]:

$$T = \frac{2T_{опт} + T_{осм}}{3}. \quad (4)$$

Отмечается, что расхождение данных, полученных по формуле (4) с периодами прогнозирования, указанными в работе [52], составило менее 5% в 25% случаев, а в 70% случаев оценки на 1980 и 2000 годы имели расхождение с расчетными величинами не более чем на 15%.

Второй способ базируется на составлении простейшей математической модели, в основу которой положены опытные факты. Перевод этих фактов в математические образы позволил в конечном виде получить расчетную зависимость для определения перспективного (реалистического) периода прогнозирования объема ПКЭ в ВС ТК

$$T = t_0 \exp[\Gamma(0,5\Gamma - 1)]. \quad (5)$$

где Γ – технический уровень объекта прогнозирования или коэффициент инженерно-технической значимости объекта; t_0 – длительность периода внедрения инженерно-технического решения (объекта) в годах, равный разности между годом освоения в производстве и годом формирования проекта (технической идеи).

$$\Gamma = \frac{Q}{q} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i(t)}{\sum_{i=1}^n \varphi_{i\max}(t)}, \quad (6)$$

где q – сумма оценок значимости объекта по каждой характеристике ГОТ, Q – максимальная сумма оценок в ГОТ по тем же характеристикам.

Длительность периода внедрения связана с номинальным числом источников информации зависимостью [49]:

$$v = (1 \dots 0,73) kt \quad (7)$$

где

$$k = 0,04 \frac{b}{\varepsilon}, \quad (8)$$

b – число элементов классификации источников информации (патенты, статьи, монографии и т.д.); ε – точность прогнозирования как совокупность погрешностей, возникающих при прогнозировании.

Оценка ε приведена в [49]. Используя (7) и (8) длительность периода внедрения t_0 можно выразить через параметры v , b и ε :

$$t_0 = \frac{v\varepsilon}{(1 \dots 0,73) \cdot 0,04 \cdot b}. \quad (9)$$

Подробно содержание блока определения (назначения априори) или расчета периодов прогнозирования для ПКЭ в ВС ТК изложено в [49]. В этой же монографии изложены и методы инженерного прогнозирования, которые сравнительно просто адаптируются к определению рациональных объемов внедрения ПКЭ в ВС ТК с учетом специфических условий отечественного самолетостроения. Кратко описанная выше система инженерного прогнозирования объемов внедрения ПКЭ в ВС ТК представлена принципиальной схемой на рис. 3.

Синтезированная выше система в перспективе по мере ее наполнения количественными данными сможет явиться основой продуктивного инженерного прогнозирования объемов внедрения ПКЭ в ВС ТК.

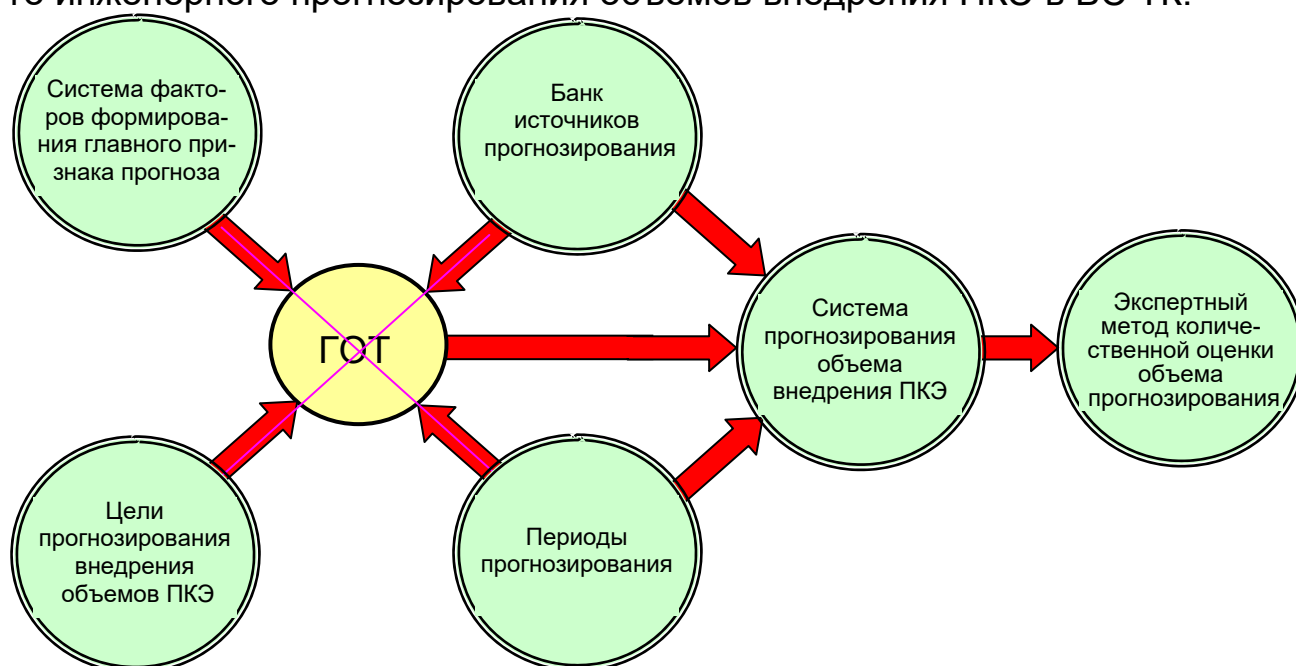


Рисунок 3 – Принципиальная схема системы инженерного прогнозирования объемов внедрения ПКЭ в ВС ТК

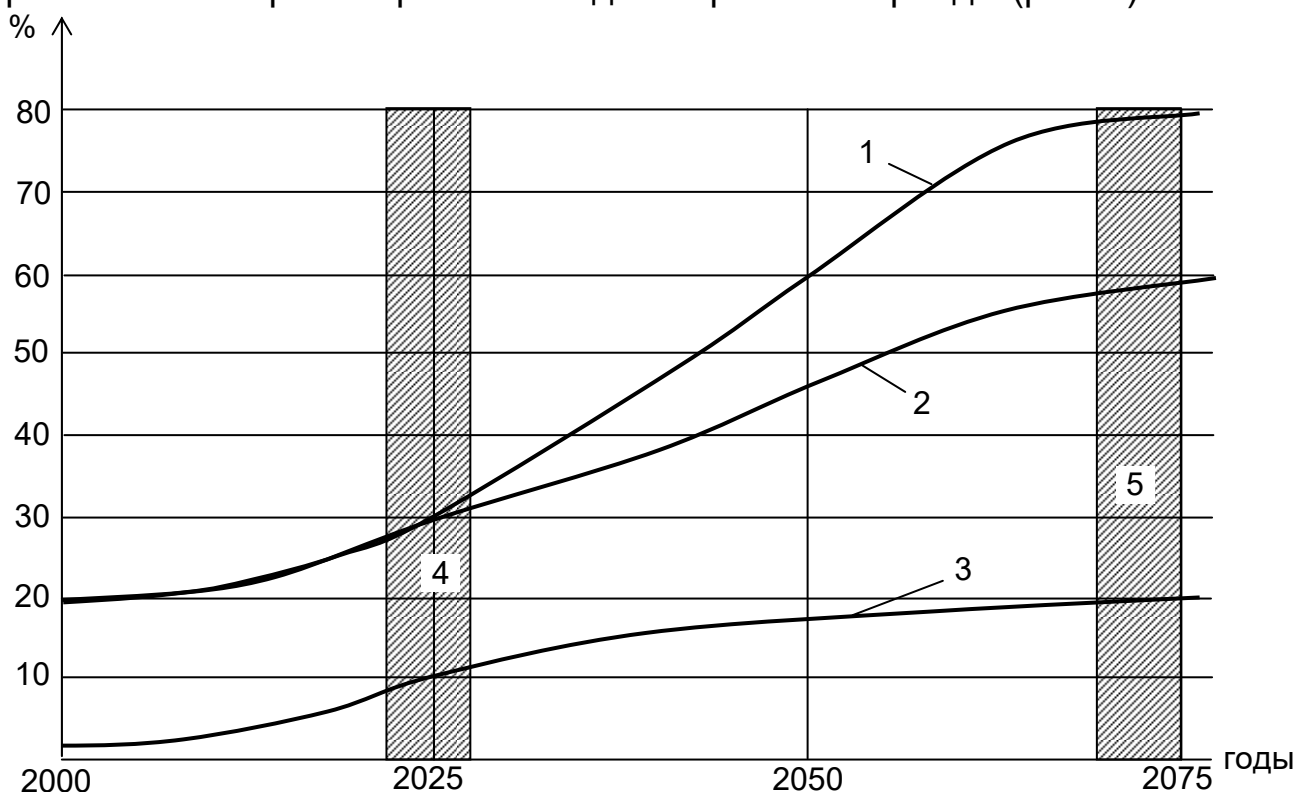
Необходимо отметить еще один принципиально важный аспект обсуждаемой проблемы: ее гармонизацию с прогнозами внедрения ПКН в самолетостроении, частично уже освещенными выше на основе результатов исследований [11 – 12, 32 – 33, 35 – 36, 40, 44, 53] и др. Эти результаты получены без учета параллельного, хотя и с определенным запаздыванием объемов внедрения ПКЭ в этих же объектах. Очевидно, что на начальных этапах небольшого относительного объема внедрения ПКМ (приблизительно до 20% от массы планера ВС ТК, соответствующего временному периоду начала 2000-х годов, объем внедрения ПКЭ на порядок меньший, не мог оказывать влияние на характер роста объема внедрения композитов. Однако при возрастании объема ПКЭ до 10% и более к 2020 – 2025 годам (см. информацию [27 – 28]) его влияние должно замедлять объемы внедрения ПКМ относительно прогнозов работы [53], причем это снижение прогнозируемых ранее объемов внедрения ПКМ будет нарастать до некоторого предела.

Очевидно «равновесное» состояние, при котором объемы роста внедрения и ПКМ и ПКЭ стабилизируются, будет определяться фактором стоимости их внедрения, когда эта стоимость будет равной при учете равенства следующих основных критериальных факторов:

- роста эксплуатационных характеристик материалов и их сохраняемости в процессе эксплуатации ВС ТК;
- капитальных вложений в производство агрегатов из ПКМ и ПКЭ;
- производственных затрат на технологическую подготовку и само производство;
- условий и средств обеспечения безопасности производственной жизнедеятельности и экономических требований;
- обеспеченности сырьем и полуфабрикатами производства агрегатов из ПКМ и ПКЭ.

При этом должны также обеспечиваться условия наличия соответствующих кадров, современных информационных технологий и инновационной поддержки.

Изложенные выше условия прогноза параллельного внедрения объемов ПКМ и ПКЭ в ВС ТК можно интерпретировать условными графиками инженерного прогноза на долгосрочные периоды (рис. 4).



- 1 – объемы внедрения ПКМ без учета роста объемов ПКЭ в соответствии с [53];
 2 – объемы внедрения ПКМ с учетом роста объемов ПКЭ; 3 – объемы внедрения ПКЭ с учетом снижения объемов роста ПКМ; 4 – зона начала влияния роста объемов ПКЭ на снижение объемов роста ПКМ; 5 – зона стабилизации объемов роста ПКМ и ПКЭ

Рисунок 4 – Гипотетический характер формирования долгосрочных прогнозов роста объемов параллельного внедрения ПКМ и ПКЭ в агрегатах ВС ТК

Выводы

1. Проведен анализ проблем инженерного прогнозирования эффективных объемов внедрения материалов порошковой металлургии в конструкциях агрегатов ВС ТК в современных условиях недостаточного информационного обеспечения.

2. Показано, что основными предпосылками инженерного прогнозирования роста объемов внедрения ПКЭ является достаточная номенклатура порошков, технологий их формирования средствами специального оборудования при наличии потребности разработчика ВС ТК в росте объемов применения этого класса материалов, предопределяемой ее экономической целесообразностью.

3. Обоснована правомерность использования методологии инженерного прогнозирования объемов применения ПКМ в агрегатах ВС ТК, формируемая на базе предложенной генеральной определительной таблицы, системы основных факторов, формирующих объем внедрения ПКМ и других составляющих этой системы прогнозирования.

4. На основе этой системы разработана принципиальная схема состава комплекса прогнозирования объемов внедрения ПКЭ в агрегатах самолета, информационное насыщение которого в перспективе должно обеспечить качество и точность этого прогноза.

5. Установлен и обоснован гипотетический характер формирования долгосрочных прогнозов роста объемов параллельного внедрения ПКМ и ПКЭ в агрегатах ВС ТК как эффективного способа повышения их эксплуатационных характеристик в современных условиях

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. 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.

3. 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.

4. Jose Manuel Luna Dias Composites: 30 years of continued R&D as the driving force behind aero structures progress [Текст] / Jose Manuel Luna Dias // SAMPE EUROPE 33th International Conference and Forum. – Key-note 1. – P. 2 – 41.

5. Beral B. A-350 XMW Structure: A major Steps for Composite Application [Текст] / B. Beral // SAMPE EUROPE Technical Conference & "Table-Top", Exhibition 2008 (SETIC 03/-08), 18-19 September 2008, Augsburg, Germany, 2008. – P. 124 – 134.

6. Gay D. Composite Materials. Design and Application [Текст] / D. Gay, S.V. Noa // CRC Press, 2007. – 328 p.

7. 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, 2015. – №7. – С. 24 – 37.

8. 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.

9. Каблов, Е.Н. Материалы для авиакосмической техники [Текст] / Е.Н. Каблов // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое авиастроение. – М.: НТЦ АСК, 2008. – С. 377 – 388.

10. 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.

11. Коцюба, А.А. Синтез системы прогнозирования объемов применения композиционных материалов в отечественных гражданских самолетах на долгосрочный период [Текст] / А.А. Коцюба, А.В. Кондратьев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2(90). – Х., 2017. – С. 7 – 23.

12. Андреев, А.В. Перспективы и особенности внедрения современных полимерных композиционных материалов в конструкциях самолетов «Ан» [Текст] / А.В. Андреев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(96). – Х., 2018. – С. 7 – 23.

13. Специальные технологии и материалы порошковой металлургии [Текст] / Д.С. Кива, С.А. Бычков, О.Ю. Нечипоренко, И.Г. Лавренко. – К.:КВИЦ, 2014. – 664 с.

14. Конструкционные материалы в самолетостроении [Текст] / А.Г. Моляр, А.А. Коцюба, А.С. Бычков, О.Ю. Нечипоренко. – К.: КВИЦ, 2015. – 400 с.

15. Порошковые материалы для авиационной и ракетно-космической техники [Текст] / А.А. Коцюба, А.С. Бычков, О.Ю. Нечипоренко, И.Г. Лавренко. – К.: КВИЦ, 2016. – 304 с.

16. Бычков, А.С. Концептуальный подход к критериальной оценке возможностей повышения эксплуатационных характеристик деталей

авиаконструкций, формуемых методами порошковой металлургии [Текст] / А.С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(92). –Х., 2017. – С. 42 – 54.

17. Бычков, А.С. Метод последовательного расширения полноты критериальной оценки эффективности использования спеченных порошковых материалов в агрегатах авиаконструкций. Сообщение 1. Спеченные порошковые материалы на основе алюминия [Текст] / А.С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 1(93). –Х., 2018. – С. 53 – 64.

18. Бабич, Б.Н. Дисперсионное упрочнение и механическое легирование – новые пути создания высокотемпературных авиационных материалов [Текст] / Б.Н. Бабич // Авиационные материалы на рубеже XX-XXI веков. – Под ред. акад. РИАН Р.Е. Шалина. – М.: ВИАМ, 1994. – С. 304 – 314.

19. Гращенков, Д.В. Развитие порошковой металлургии жаропрочных материалов [Электронный ресурс] / Д.В. Гращенков, Б.В. Щетанов, И.Ю. Ефимочкин. – Режим доступа: <http://viam.ru/public/files/2010/2010-205713.pdf>.

20. Спеченные материалы для электротехники и электроники: Справ. издание [Текст] / Г.Г. Гнесин, В.А. Дубок, Г.Н. Братерская и др. – М.: Металлургия, 1981. – 344 с.

21. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения [Текст] / О.М. Ивасишин, Д.Г. Саввакин, К.А. Бондарева и др. // Наука и инновации. – 2005. – Т. 1. – №2. – С. 44 – 57.

22. Глазунов, С.Г. Уникальное оборудование для новой технологии металлов [Текст] / С.Г. Глазунов, К.К. Ясинский // Авиационные материалы на рубеже XX-XXI веков. – Под ред. акад. РИАН Р.Е. Шалина. – М.: ВИАМ, 1994. – С. 166 – 171.

23. Глазунов, С.Г. Новая порошковая металлургия титановых сплавов [Электронный ресурс] / С.Г. Глазунов // Авиационная промышленность. – 1982. – №8. – Режим доступа: www.viam.ru/public.

24. Федорченко, И.М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы [Текст] / И.М. Федорченко, Л.И. Пугина. – Киев: Наук. думка, 1980. – 404 с.

25. Федорченко, И.М. Современные фрикционные материалы [Текст] / И.М. Федорченко, В.М. Крячек, И.И. Панаиоти. – Киев: Наук. думка, 1975. – 336 с.

26. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы: пер. с нем [Текст] / под ред. Шатта. – М.: Металлургия, 1983. – 520 с.

27. Каблов, Е.Н Порошки избавляют от лишнего [Электронный ресурс] / Е.Н. Каблов // Эксперт. – 2014. – №49(926). – Режим доступа: viam.ru/interview/1960.

28. Европейский концерн Airbus преодолел очередной рубеж внедрения аддитивных технологий [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.3dtoday.ru>blogs 15 сентября 2017 г.

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

30. Закон України «Про розвиток літакобудівної промисловості» від 12.07.2001 р. №2660-Ш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon1.rada.gov.ua/lows/show/2660-14.-1.09.2016>.

31 Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії розвитку вітчизняної авіаційної промисловості на період до 2020 року» від 27.12.2008 р. №1656-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon1.rada.gov.ua/lows/show/1656-2008-p.-1.09.2016>.

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

33. Коцюба, А.А. Анализ эффективности конструктивно-технологических решений агрегатов воздушных судов из полимерных композиционных материалов и реализующих их технологий [Текст] / А.А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2(86). –Х., 2016. – С. 7 – 14.

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

35. 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: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3(91). – Х., 2017. – С. 7 – 14.

36. Коцюба, А.А. Формирование критерия эффективности проектирования конструкций гражданских самолетов из полимерных композиционных материалов на этапе выбора их состава [Текст] / А.А. Коцюба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных ап-

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

37. Проектирование агрегатов фюзеляжа самолета из композитов [Текст] / А.З. Двейрин, В.А. Костюк, Я.О. Головченко и др. // Технологические системы – 2014. – №1(2). – С. 38 – 42.

38. Технология безавтоклавного формования силовых конструкций планера самолета из полимерных композиционных материалов [Текст] / Г.А. Кривов, Ю.М. Тарасов, А.Г. Громышев, В.Ф. Забашта // Технологические системы. – №5. – 2009. – С. 47 – 70.

39. Бабенко, М.Н. 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. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 1(89). – Х., 2017. – С. 7 – 15.

40. Коцюба, А.А. Формирование составляющих комплексного критерия технической 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. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(88). – Х., 2017. – С. 22 – 36.

41. Король, В.Н. Компьютеризация авиационного производства [Текст] / В.Н. Король // Информационные технологии в наукоемком машиностроении / под ред. П.В. Балабуева, В.А. Богуслаева, А.Г. Братухина, Г.А. Кривова. К.: Техніка, 2001. – С. 98 – 105.

42. Гайдачук, А.В. Анализ технологических дефектов, возникающих в серийном производстве интегральных авиаконструкций из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.В. Гайдачук, А.В. Кондратьев, Е.В. Омельченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – №3(70). – С. 12 – 20.

43. Создание агрегатов самолетов из композиционных материалов – новые подходы, интегральные решения [Текст] / В.Н. Король, В.З. Двейрин, Е.Т. Василевский // Технологические системы. – 2011. – №4(57). – С. 32 – 35.

44. 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.

45. Порошковая металлургия на рубеже веков: новые аспекты, понятия и определения [Текст] / Д.С. Кива, С.А. Бычков, О.Ю. Нечипоренко, И.Г. Лавренко. – КВІЦ, 2014. – 192 с.

46. Король, В.Н. Научные основы организации современного и перспективного производства пассажирских и транспортных самолетов: дис...д-ра техн. наук: 05.13.22 / Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова. Киев, 2003. – 391 с.

47. Балабуев, П.В. Стратегия и практика АНТК «Антонов» в создании самолетов «Ан» на основе полного электронного определения изделия [Текст] / П.В. Балабуев, В.И. Матусевич // Информационные технологии в наукоемком машиностроении / под ред. П.В. Балабуева, В.А. Богуслаева, А.Г. Братухина, Г.А. Кривова. К.: Техніка, 2001. – С. 84 – 97.

48. Бычков, А.С. Критерии эффективности замены материалов триботехнического назначения для узлов трения самолетов. Сообщение 1. Общая характеристика материалов триботехнического назначения. Антифрикционные материалы [Текст] / А.С. Бычков, О.Ю. Нечипоренко // Технологические системы: науч.- техн. журнал. – К. – №3(80). – 2017. – С. 74 – 85.

49. Гмошинский, В.Г. Инженерное прогнозирование [Текст] / В.Г. Гмошинский. – М.: Энергоиздат, 1982. – 208 с.

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

51. Бешелев, С.В. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С.В. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

52. Добров, Г.М. Прогнозирование и оценки технических нововведений [Текст] / Г.М. Добров, А.А. Куренный. – Киев: Наукова думка, 1989. – 276 с.

53. Коцюба, А.А. Методология прогнозирования объемов применения полимерных композиционных материалов в отечественных гражданских самолетах на долгосрочные периоды [Текст] / А.А. Коцюба, А.В. Кондратьев, В.В. Кириченко // Технологические системы: науч.- техн. журнал. – К. – №3(80). – 2017. – С. 59 – 70.

Поступила в редакцию 23.07.2018.

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