

УДК 629.7.002: 624.016

А. В. Гайдачук, д-р техн. наук,
В. А. Коваленко, д-р техн. наук,
А. В. Кондратьев, д-р техн. наук,
М. А. Шевцова, канд. техн. наук

**СОЗДАНИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА АГРЕГАТОВ АВИАЦИОННОЙ
И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.
СООБЩЕНИЕ 1**

В Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» в содружестве с профильными предприятиями отрасли в 2015 году завершен первый этап комплекса исследований, связанных с созданием научных основ проектирования и технологии производства агрегатов авиационной и ракетно-космической техники (АРКТ) из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Этот комплекс исследований имеет приоритетное направление: создание и применение технологий получения, сварки, соединения и обработки конструкционных, функциональных и композиционных материалов.

Основным объектом исследований этого комплекса являются агрегаты АРКТ из ПКМ.

Предмет исследований – совершенствование технологии изготовления агрегатов АРКТ из ПКМ в специфических условиях отечественного производства.

Выбор именно этого приоритетного направления продиктован, во-первых, его актуальностью в плане повышения массовой и экономической эффективности изделий АРКТ и их конкурентоспособностью; во-вторых, опытом участников работ и существующих заделов [1 – 5 и др.] и, в-третьих, наличием заинтересованных в этих разработках и обладающих современной технологической и экспериментальной базами таких предприятий, как ГП «Антонов», ГП «Конструкторское бюро «Южное», ПАО «Украинский научно-исследовательский институт технологии машиностроения», ГП «Научно-исследовательский технологический институт приборостроения» и ряд ведущих фирм отрасли Украины.

В рамках первого этапа этого комплекса исследований на кафедрах конструкций и проектирования ракетной техники, композитных конструкций и авиационного материаловедения проведен анализ современного состояния применения ПКМ в изделиях АРКТ как весомого резерва повышения ее массовой и функциональной эффективности. Вскрыты мировые тенденции и проблемы расширения сферы и уровня ответственности агрегатов АРКТ из ПКМ. Дан анализ состояния пробле-

мы научно-технического обеспечения эффективной технологии производства агрегатов АРКТ из ПКМ в отечественных условиях.

Показано, что реализация мировых тенденций роста применения ПКМ в конструкциях АРКТ в конкретных условиях Украины сталкивается с рядом существующих проблем, в первую очередь экономического и технического характера, к числу которых следует прежде всего отнести следующее.

1. Отсутствие сырья для получения связующих и волокон, обеспечивающих создание конструкций из ПКМ с достигнутыми в мире физико-механическими и другими свойствами, необходимыми для реализации потребной несущей способности ответственных изделий АРКТ в специфических условиях их эксплуатации. Отсутствие технологического оборудования для производства высокопрочных и высокомодульных углеродных волокон.

2. Высокая стоимость импортных полуфабрикатов ПКМ для производства изделий АРКТ, многие из которых не подлежат вообще импортированию как стратегическая продукция оборонного профиля.

3. Высокая себестоимость производства изделий АРКТ из ПКМ (оборудования, оснащения, материалов, энергии), в особенности в период организации и становления производства, связанная с необходимостью закупки зарубежных современных образцов специальных средств производства.

4. Значительная утрата высококвалифицированных кадров и слабое их пополнение молодыми специалистами для научно-технического обеспечения проектирования производства современных высокоэффективных изделий АРКТ из ПКМ.

Приведенный выше далеко не полный перечень проблем, в конечном счете имеющих в своей основе экономический характер, свидетельствует о реальной возможности утраты Украиной престижного статуса государства, все еще находящегося в десятке стран мира, лидирующих в сфере мирного освоения космоса современной АРКТ в рамках международного сотрудничества и отечественных перспективных программ.

В связи с этим представляется актуальным и настоятельно необходимым синтезировать одну из предопределяющих выход страны на конкурентоспособный в мире уровень научно обоснованную комплексную программу, составляющие которой системно содержат все основные этапы от выявления фундаментальных характеристик ПКМ как элементов технической системы их производства до научных основ управления качеством их производства.

Составляющие этой комплексной проблемы и основные контуры путей ее решения представлены блок-схемой на рис. 1 [6].

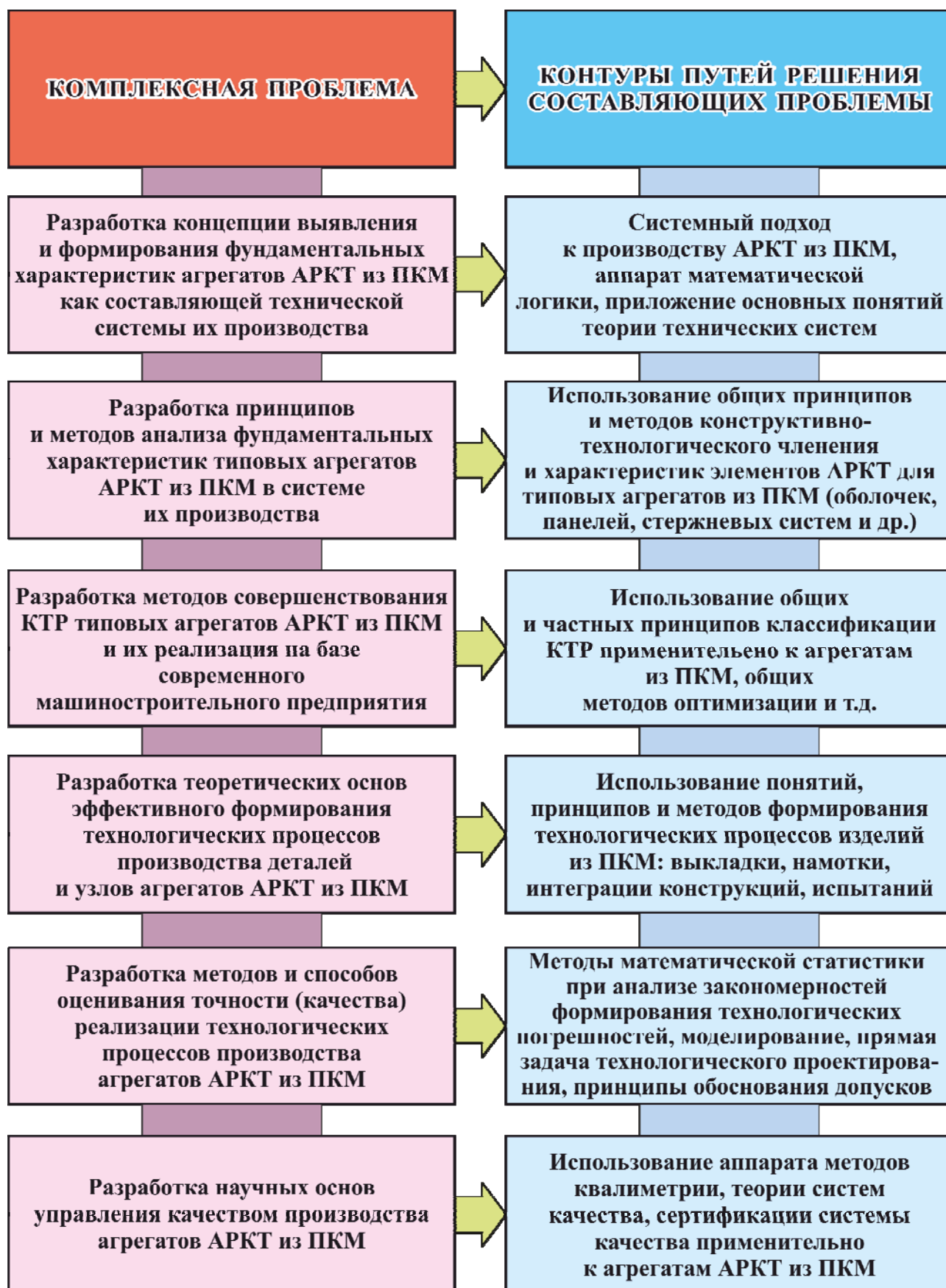


Рисунок 1 – Комплексная проблема научного обеспечения создания высокоэффективных агрегатов АРКТ из ПКМ

Известно, что применение ПКМ в изделиях АРКТ и других конструкциях машиностроения является эффективным средством повышения их эксплуатационных (функциональных) характеристик [7, 8].

АРКТ, как и подобные другие виды продукции машиностроения, обладает общими для технических систем (ТС) показателями (характеристиками), которые определяют ее совершенство, т.е. полноту всех достоинств или высшую степень какого-либо положительного качества.

В соответствии со стандартом ISO 8402 (BS 4778) качество – это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленным или предполагаемым потребностям.

Показано, что качество продукции играет определяющую роль в критерии оценки продукции потребителем (рис. 2) [9, 10].

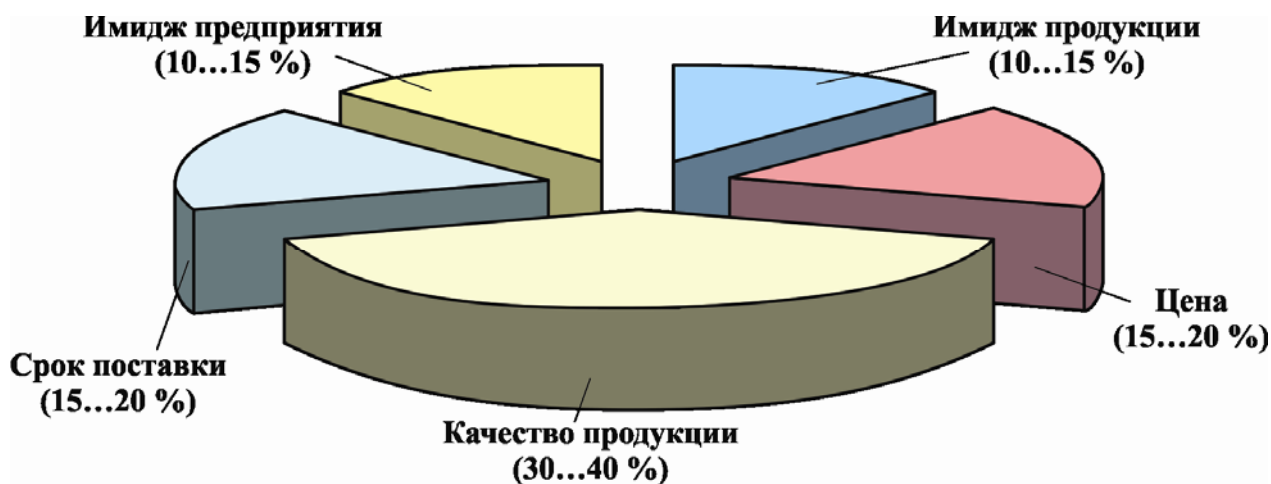


Рисунок 2 – Критерии сравнения и степень их влияния на оценку продукции потребителем

Общими функциональными количественными характеристиками ТС являются показатели качества (ПК). ПК можно разделить на те или иные основные группы, формируемые по принципу близости или общности входящих в них и соподчиненных с ними характеристик.

На основе сформировавшейся в настоящее время в результате работ отечественных ученых квалиметрии предложена принципиальная иерархическая классификационная схема уровней показателей качества продукции. Так, независимо от вида продукции имеет место иерархическая схема показателей ее качества (рис. 3), в соответствии с которой единичные ПК объединяются в групповые, групповые – в комплексные, а комплексные интегрируются в интегральный ПК.

На рис. 4 показан структурный переход групповых показателей в комплексные.

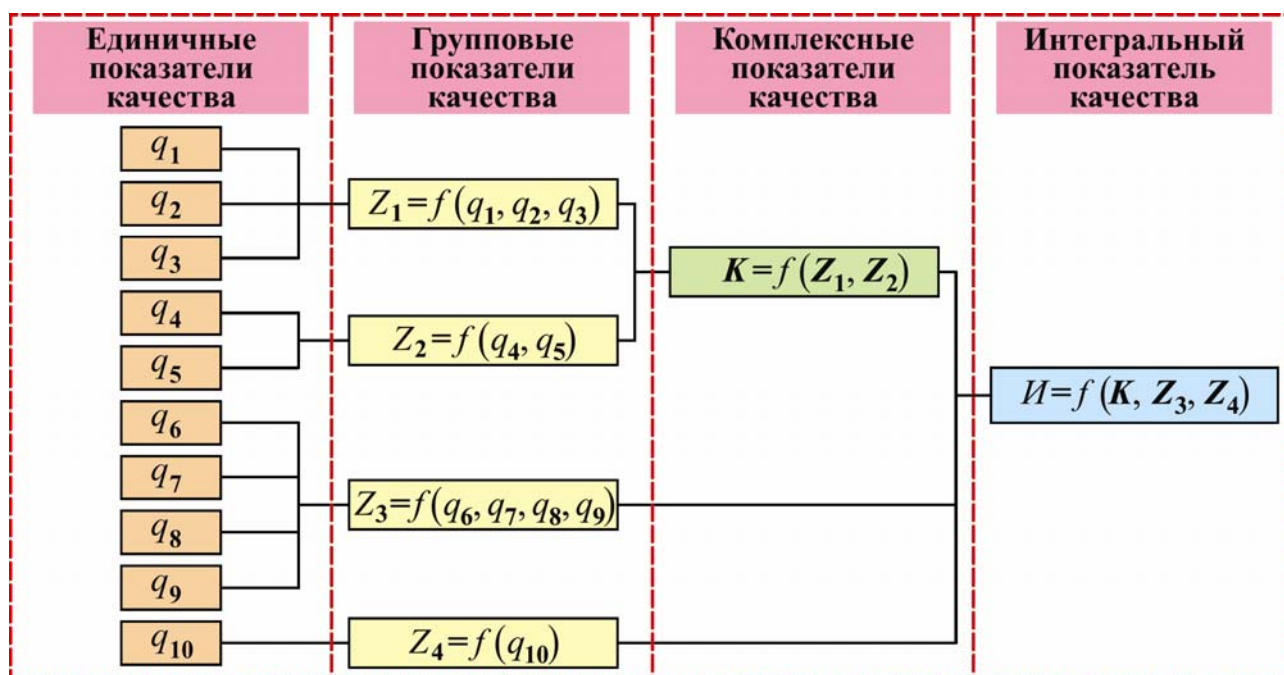


Рисунок 3 – Иерархическая схема показателей качества

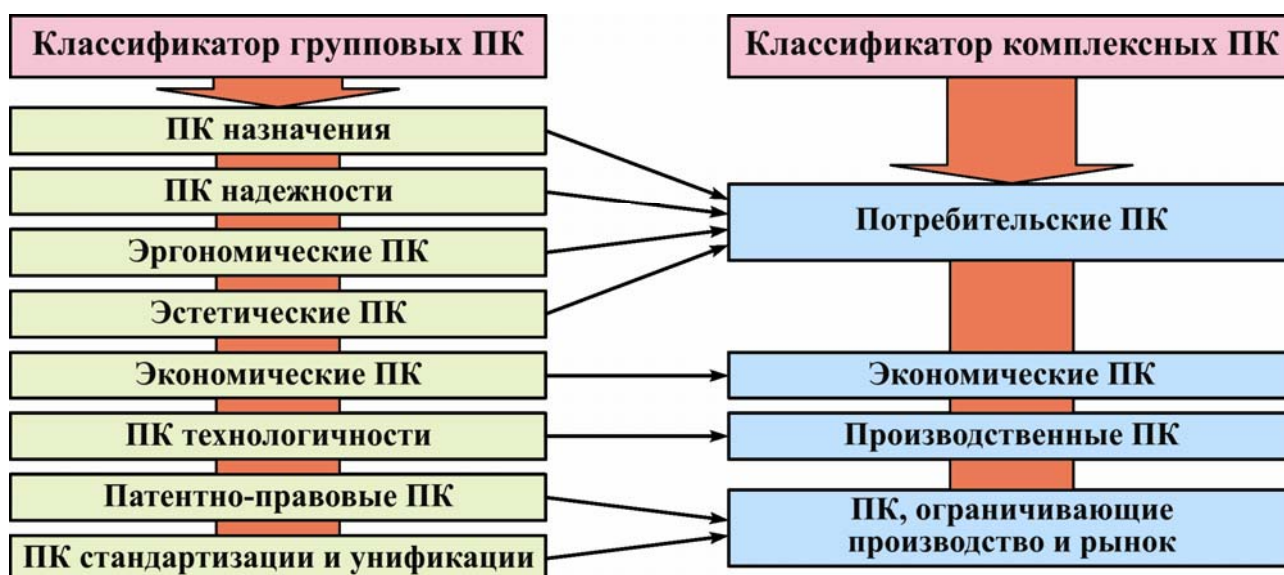


Рисунок 4 – Структурный переход групповых ПК в комплексные

В рамках комплекса исследований проведен анализ квалиметрических характеристик качества применительно к конструкциям АРКТ из ПКМ, лежащих в основе концептуального подхода к созданию и реализации в условиях отечественного производства высокоэффективной технологии изготовления изделий исследуемого класса. Синтезирован классификатор всех иерархических уровней показателей качества: единичных (ЕПК), групповых (ГПК), комплексных (КПК) и интегрального (ИПК), фрагмент которого показан на рис. 5 [10].

При прогнозировании новой продукции критерием ее эффективности является ИПК, который формируется на основе мониторинга и анализа предполагаемого рынка ее потребления.

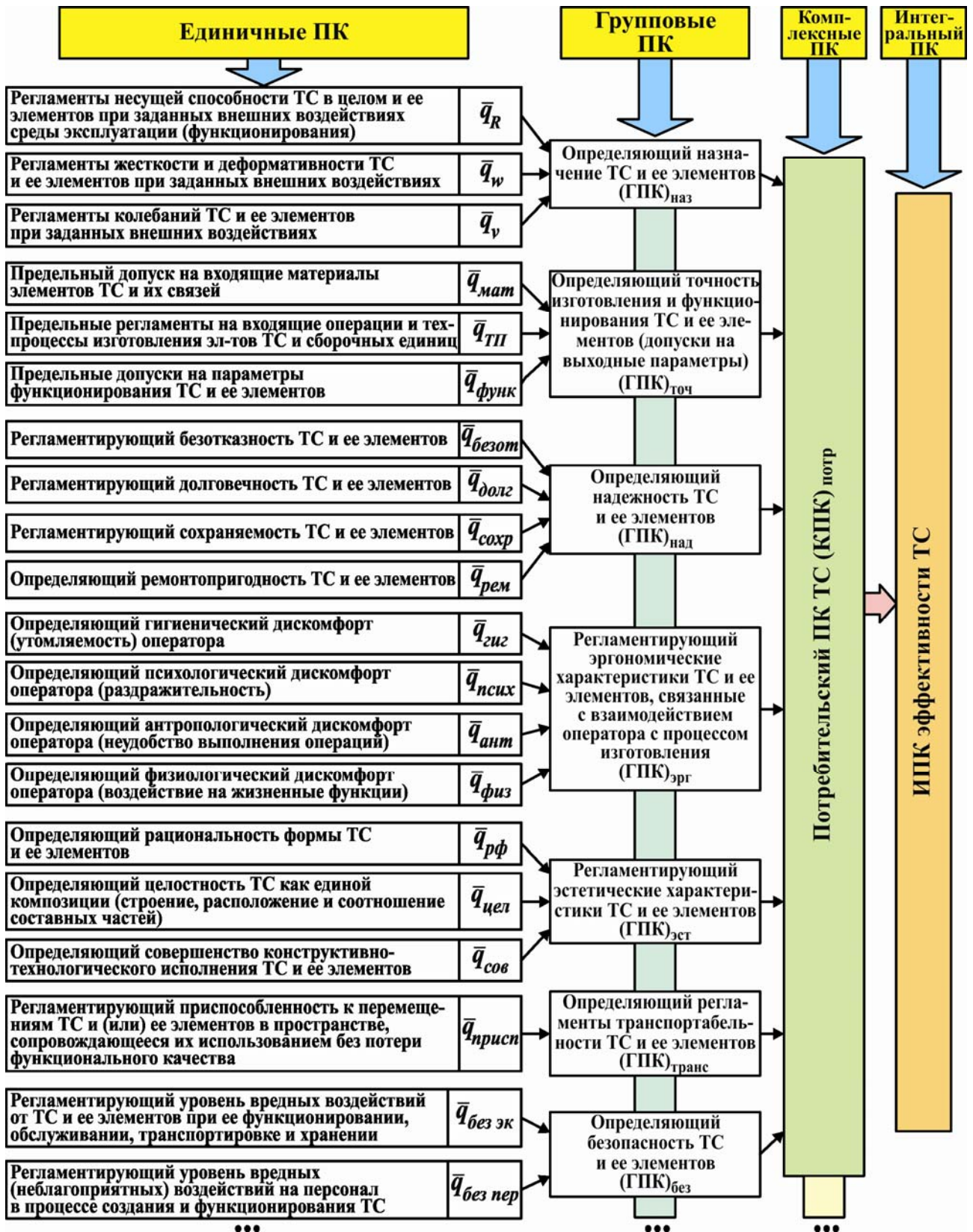


Рисунок 5 – Фрагмент классификатора иерархических уровней показателей качества технической системы АРКТ

Для обеспечения этого ИПК при производстве данной продукции необходимо синтезировать всю цепочку формализованного перехода от ИПК к ЕПК в виде функционала [9 – 12]

$$ИПК_m = F \left\{ \varphi \left(КПК_m \left[\psi \left(ГПК_m \{ f(ЕПК_m) \} \right) \right] \right) \right\}, \quad (1)$$

где индекс « m » означает соответствующие теоретические (проектные) показатели.

От точности воспроизведения функционала (1) во многом в дальнейшем зависит эффективность системы управления качеством продукции: насколько четко строить оргмероприятия в производстве для обеспечения реализации каждого ЕПК, затем ГПК, потом КПК, чтобы в результате (на выходе) из этой системы управления качеством получить $(ИПК)_p$, близкий к $(ИПК)_m$.

$ИПК_p$ реализованной в производстве продукции формируется функционалом, структура которого по форме обратна структуре (1):

$$F \left\{ \varphi \left(КПК_p \left[\psi \left(ГПК_p \{ f(ЕПК_p) \} \right) \right] \right) \right\} = ИПК_p, \quad (2)$$

где индекс « p » означает соответствующие реализованные показатели.

Значения реализованных ПК продукции не должны превышать допуски на них, удовлетворяющие регламентированным значениям.

Интегральный показатель качества для изделий АРКТ представлен как отношение массы полезного груза к стартовой массе АРКТ, умноженной на относительные суммарные затраты на функционирование объекта в течение его жизненного цикла T :

$$И = \frac{m_{пг}}{(m_{пг} + m_m + m_k) \bar{B}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{m_m}{m_{пг}} + \frac{m_k}{m_{пг}} \right) \left(1 - \frac{\bar{C}_{МК} \xi_{МК} m_k}{C_{АРКТ баз}} \right)}, \quad (3)$$

где $m_{пг}$ – масса полезного груза; m_k – пассивная масса или масса конструкции; m_m – масса топлива; \bar{B} – относительные суммарные затраты на функционирование АРКТ в течение жизненного цикла; $\bar{C}_{МК}$ – снижение стоимости 1 кг m_k , \$/кг; $\xi_{МК}$ – относительная доля снижения m_k ; $C_{АРКТ баз}$ – базовая рыночная цена АРКТ рассматриваемого класса.

Показано, что каждый i -й ГПК интегрирует в себе все \bar{q}_i единичных с экспертным путем определяемыми коэффициентами весомости входящих ЕПК:

$$(\text{ГПК})_i = \sum_{i=1}^m K_i \bar{q}_i, \quad (4)$$

где K_i – экспертные коэффициенты весомости входящих ЕПК.

Аналогичным образом формируется каждый j -й КПК, включающий в себя сумму соответствующих ГПК с их весовыми коэффициентами:

$$(\text{КПК})_j = \sum_{i=1}^n K_i (\text{ГПК})_i, \quad (5)$$

где K_i – весовые коэффициенты вклада i -го $(\text{ГПК})_i$.

Предложены обоснованные математические модели показателей качества и методы их определения для единичных, групповых, комплексных и интегральных показателей качества. Для примера в табл. 1 приведены предпочтительные математические модели ЕПК, ГПК и КПК технологичности АРКТ [9 – 12].

Показано, что увеличение ИПК связано с синтезированными фундаментальными характеристиками ПКМ, отличающими композиты от других конструкционных материалов: синхронность формирования функциональных свойств ПКМ и изделия – $K_{сф}^{\phi x}$; управляемость свойствами ПКМ в изделии конструктивно-технологическими материаловедческими средствами – $K_{упр}^{\phi x}$; возможность обеспечения сохранения деформативных характеристик при изменении параметров среды эксплуатации конструкции из ПКМ (формостабильность, адаптируемость и др.) – $K_{инт}^{\phi x}$; синергетика свойств ПКМ относительно компонентов – $K_{син}^{\phi x}$; предопределенность состава и формы компонент, заданных заранее – $K_{пред}^{\phi x}$; деструкция ПКМ, зависящая от эксплуатационных факторов и времени – $K_{дест}^{\phi x}$.

При этом количественная оценка влияния фундаментальных характеристик ПКМ на показатели качества конструкций РКТ в виде их приращения представлена математической моделью в ее аддитивной форме соответственно для групповых, комплексных и интегрального показателей качества:

$$\Delta(\text{ГПК})_i = \sum_{i=1}^n \Delta \bar{q}_i (K_{\xi}^{\phi k})_{\xi} K_{\xi}, \quad \sum_{\xi=1}^7 K_{\xi} = 1, \quad (6)$$

где ξ – число фундаментальных характеристик ПКМ $K^{\phi k}$ ($K^{\phi k}=7$); i – число ЕПК, входящих в i -й ГПК;

Таблица 1 – Предпочтительные модели ЕПК, ГПК и КПК технологичности АРКТ (фрагмент)

Формула ЕПК	Расшифровка входящих параметров ЕПК	Формула ГПК	Формула $(КПК)_{техн}$
$\bar{q}_{пцп} = \frac{q_{пцп}}{q_{пцпб}}$	$q_{пцп} = T_{ц} = \sum_{j=1}^k (T_{цo j} + T_{пер j}),$ <p>где $T_{цo j}$ – продолжительность цикла j-й операции; $T_{пер j}$ – время межоперационных перерывов; k – число последовательных операций на критическом пути</p>		$(КПК)_{техн} = \sum_{i=1}^2 K_i (ГПК)_i$ <p>$i \in o_{техн}, ч_{техн}$</p>
$\bar{q}_{спз} = \frac{q_{спз}}{q_{спзб}}$	$q_{спз} = \frac{C_{пл}}{Ц_{опт}},$ <p>где $C_{пл}$ – плановая себестоимость изделия; $Ц_{опт}$ – оптовая цена изделия</p>	$(ГПК)_{отех} = \sum_{i=1}^3 K_i \bar{q}_i$ <p>$i \in пцп, елз, тр$</p>	
$\bar{q}_{тпр} = \frac{q_{тпр}}{q_{тпрб}}$	$q_{тпр} = T_{роп} = \sum_{i=1}^m T_{рпп} n_i = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m T_{р0} m_i =$ $= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left(\sum_{i=1}^k K_{ni} K_{ki} t_i \right) m_i,$ <p>где $T_{роп}$ – трудоемкость объекта производства; $T_{рпп}$ – трудоемкость ПП над объектом производства; n_i – количество повторений операций ПП; m_i – общее количество операций ПП; K_{ni}, K_{ki} – коэффициенты, учитывающие профессию и квалификацию; t_i – время участия каждого исполнителя в ПП</p>	<p>или</p>	$(КПК)_{техн} = b_0 +$ $+ b_1 (ГПК)_{отехн} +$ $+ b_2 (ГПК)_{чтехн} +$ $+ b_3 (ГПК)_{отехн} (ГПК)_{чтехн}$

$$\Delta(\text{КПК})_i = \sum_{j=1}^{14} \Delta(\text{КПК})_i K_j, \quad \sum_{j=1}^{14} K_j = 1, \quad (7)$$

где K_j – весовые коэффициенты приращений j -го КПК за счет применения в конструкции РКТ ПКМ, $j \in (\text{наз, точ, над, эрг, эст, транс, без, цмп, эз, зу, отех, чтех, пат, экол})$;

$$\Delta I_{\text{ПКМ}} = \sum_{i=1}^7 \Delta(\text{КПК})_i K_i, \quad \sum_{i=1}^7 K_i = 1; \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^7 \Delta(\text{КПК})_i K_i \right) = \sum_{j=1}^m \left\{ \sum_{i=1}^7 \left[\sum_{\xi=1}^n \Delta \bar{q}_i (K_{\xi}^{\text{фк}}) K_{\xi} \right] K_i \right\}.$$

Последним звеном первого этапа исследований был анализ качественного влияния фундаментальных характеристик ПКМ на эффективность конструктивно-технологических решений (КТР) изделий АРКТ из композитов, фрагмент которого показан в табл. 2. В табл. 2 приведено $\Delta \bar{q}_i (K_j^{\text{фк}})$ при условии, что базовая конструкция выполнена из традиционных (металлических) материалов.

Таким образом, с помощью зависимостей (6) – (8) установлены количественные значения приращений ПК всех уровней, возникающих в конструкциях АРКТ из ПКМ вследствие реализации фундаментальных характеристик композитов.

Дальнейшее использование этих зависимостей после установления весовых коэффициентов $\Delta \bar{q}_{\text{ПКМ}}$ ЕПК и интегрирующих их вышестоящих иерархических уровней, вплоть до $\Delta I_{\text{ПКМ}}$, позволит обоснованно прогнозировать эффективность тех или иных синтезирующих решений для элементов конструкций и агрегатов РКТ из ПКМ.

Выводы

На основе проведенного комплекса исследований были получены следующие результаты.

1. Проведен широкомасштабный анализ и вскрыто состояние проблемы научного обеспечения в условиях отечественной производственно-технической базы создания агрегатов АРКТ из ПКМ как мощного резерва повышения ее массовой и функциональной эффективности, отражающего мировые тенденции расширения сферы и уровня ответственности композитных конструкций, обеспечивающих рост конкурентоспособности украинской РКТ на рынке услуг.

Таблица 2 – Анализ качественного влияния фундаментальных характеристик ПКМ на ГПК потребительских свойств конструкций АРКТ (фрагмент)

Наименование группового ПК	ЕПК	Характер приращения ЕПК вследствие влияния ФХ ПКМ	
$(ГПК)_{наз}$	\bar{q}_R	$n_{max}^э = const$ или $n_{max}^э \uparrow; f_{max} \uparrow$	$\Delta\bar{q}_R(K_{сф}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_R(K_{упр}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_R(K_{инт}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_R(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_R(K_{пред}^{фх}) = 0; \Delta\bar{q}_R(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
	\bar{q}_w		$\Delta\bar{q}_w(K_{сф}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_w(K_{упр}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_w(K_{инт}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_w(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_w(K_{пред}^{фх}) = 0; \Delta\bar{q}_w(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
	\bar{q}_v		$\Delta\bar{q}_v(K_{сф}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_v(K_{упр}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_v(K_{инт}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_v(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_v(K_{пред}^{фх}) = 0; \Delta\bar{q}_v(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
$(ГПК)_{точ}$	$\bar{q}_{мат}$		$\Delta\bar{q}_{мат}(K_{сф}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{мат}(K_{упр}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{мат}(K_{инт}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{мат}(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{мат}(K_{пред}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{мат}(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
	$\bar{q}_{отп}$		$\Delta\bar{q}_{отп}(K_{сф}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{отп}(K_{упр}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{отп}(K_{инт}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{отп}(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{отп}(K_{пред}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{отп}(K_{дес}^{фх}) \geq 0$
	$\bar{q}_{функ}$		$\Delta\bar{q}_{функ}(K_{сф}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{функ}(K_{упр}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{функ}(K_{инт}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{функ}(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{функ}(K_{пред}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{функ}(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
$(ГПК)_{над}$	$\bar{q}_{безотк}$		$\Delta\bar{q}_{безотк}(K_{сф}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{безотк}(K_{упр}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{безотк}(K_{инт}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{безотк}(K_{син}^{фх}) = 0; \Delta\bar{q}_{безотк}(K_{пред}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{безотк}(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
	$\bar{q}_{долг}$		$\Delta\bar{q}_{долг}(K_{сф}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{долг}(K_{упр}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{долг}(K_{инт}^{фх}) \uparrow; \Delta\bar{q}_{долг}(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{долг}(K_{пред}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{долг}(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
	$\bar{q}_{сохр}$		$\Delta\bar{q}_{сохр}(K_{сф}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{сохр}(K_{упр}^{фх}) = 0; \Delta\bar{q}_{сохр}(K_{инт}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{сохр}(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{сохр}(K_{пред}^{фх}) = 0; \Delta\bar{q}_{сохр}(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
	$\bar{q}_{рем}$		$\Delta\bar{q}_{рем}(K_{сф}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{рем}(K_{упр}^{фх}) = 0; \Delta\bar{q}_{рем}(K_{инт}^{фх}) = 0; \Delta\bar{q}_{рем}(K_{син}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{рем}(K_{пред}^{фх}) \geq 0; \Delta\bar{q}_{рем}(K_{дес}^{фх}) \downarrow$
$(ГПК)_{эрг}$	$\bar{q}_{гиг}$		$\Delta\bar{q}_{гиг}(K_{сф}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{гиг}(K_{упр}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{гиг}(K_{инт}^{фх}, K_{син}^{фх}, K_{пред}^{фх}, K_{дес}^{фх}) = 0$
	$\bar{q}_{псих}$		$\Delta\bar{q}_{псих}(K_{сф}^{фх}, K_{упр}^{фх}, K_{инт}^{фх}, K_{син}^{фх}, K_{пред}^{фх}, K_{дес}^{фх}) = 0$
	$\bar{q}_{ант}$		$\Delta\bar{q}_{ант}(K_{сф}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{ант}(K_{упр}^{фх}) \downarrow; \Delta\bar{q}_{ант}(K_{инт}^{фх}, K_{син}^{фх}, K_{дес}^{фх}) = 0$
	$\bar{q}_{физ}$		$\Delta\bar{q}_{физ}(K_{сф}^{фх}, K_{упр}^{фх}, K_{инт}^{фх}, K_{син}^{фх}, K_{дес}^{фх}) = 0$

2. Разработано новое научное направление в технологии производства изделий АРКТ, реализующее концептуальный подход к повышению ее эффективности путем широкого внедрения КТР из ПКМ, базирующихся на существенно расширенной номенклатуре квалиметрических показателей их качества, что позволило:

- разработать классификатор всех иерархических уровней показателей качества технической системы рассматриваемого класса;

- синтезировать новые обоснованные математические модели показателей качества и методы их определения для единичных, групповых, комплексных и интегральных показателей качества;

- вскрыть фундаментальные характеристики ПКМ, вызывающие приращение показателей качества изделий РКТ всех уровней и провести праксеологический анализ качественного влияния этих характеристик на эффективность конструктивно-технологических решений элементов конструкций РКТ из композитов;

- получить количественные зависимости приращений показателей качества всех иерархических уровней, использование которых после установления экспертным путем их весовых коэффициентов позволяет прогнозировать эффективность синтезирующих решений для типовых элементов конструкций и агрегатов РКТ из ПКМ.

Эти результаты положены в основу разработки научно обоснованных методов и документов обеспечения соответствия агрегатов АРКТ из ПКМ (МОСов и ДОСов) прогнозируемому уровню их интегрального качества и соответствующей международным стандартам системы управления качеством в процессе производства этих изделий.

Результаты проведенных исследований уже используются на ряде ведущих предприятиях отрасли – ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», ПАО «Украинский научно-исследовательский институт технологии машиностроения», ГП «Научно-исследовательский технологический институт приборостроения», ГП «Антонов», что позволило обеспечить повышение эффективности созданных на них композитных агрегатов АРКТ.

Список использованных источников

1. 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*. – Х., 2010. – Вып. 3(70). – С.11 – 20.

2. Кондратьев, А. В. Состояние проблемы научного обеспечения эффективной технологии производства агрегатов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов [Текст] / А. В. Кон-

дратьев, В. А. Коваленко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х., 2011. – № 6(83). – С. 17 – 25.

3. Beketova, G. Comparison of Hybrid Metal-Composite Small-Pin Joints with Conventional Ones in Terms of Static and Fatigue Strength [Текст] / G. Beketova, V. Symonov, M. Shevtsova // *Applied Mechanics and Materials*. - Vol. 821 (2016). – PP. 479 – 485.

4. Научное обеспечение проектирования и производства конструкций авиакосмической техники из полимерных композиционных материалов. Сообщение 1 [Текст] / С. И. Весельский, Ф. М. Гагауз, А. В. Гайдачук, В. Е. Гайдачук, Я. С. Карпов, В. В. Кириченко, А. В. Кондратьев // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов* : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 60(4). – Х., 2009. – С. 7 – 18.

5. Научное обеспечение проектирования и производства конструкций авиакосмической техники из полимерных композиционных материалов. Сообщение 2 [Текст] / Ф. М. Гагауз, А. В. Гайдачук, В. Е. Гайдачук, Я. С. Карпов, В. В. Кириченко, А. В. Кондратьев // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов* : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 65(1). – Х., 2011. – С. 7 – 19.

6. Кондратьев, А.В. Обзор и анализ мировых тенденций и проблем расширения применения в агрегатах ракетно-космической техники полимерных композиционных материалов [Текст] / А. В. Кондратьев, В. А. Коваленко // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов*: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3(67).– Х., 2011. – С. – 7 – 18.

7. Коваленко, В. А. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения ее массовой и функциональной эффективности [Текст] / В. А. Коваленко, А. В. Кондратьев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 5(82). – С. 14 – 20.

8. Кондратьев, А. В. Проектный комплекс реализации концепции оптимизации конструктивно-технологических параметров композитных изделий ракетно-космической техники [Текст] / А. В. Кондратьев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х., 2015. – № 6(119) (в печати).

9. Квалиметрические показатели основных этапов жизненного цикла конструкций ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов [Текст] / В. Е. Гайдачук, В. А. Коваленко, А. В. Кондратьев и др. // *Композиционные материалы в промышленности*: сб. материалов 32-й междунар. науч.-прак. конф., Ялта 4–8 июня 2012 г. / Украинский информационный Центр «Наука. Техника. Технология». – К., 2012. – С. 302 – 304.

10. Коваленко, В. А. Показатели качества этапов жизненного цикла конструкций ракетно-космической техники из полимерных композицион-

ных материалов [Текст] / В. А. Коваленко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 50. – Х., 2011. – С. 128 – 140.

11. Коваленко, В. А. Фундаментальные характеристики полимерных композиционных материалов и их влияние на показатели качества конструкций ракетно-космической техники [Текст] / В.А. Коваленко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 51. – Х., 2011. – С. 66 – 74.

12. Коваленко, В. А. Анализ и модификация математических моделей показателей качества и методов их определения применительно к изделиям ракетно-космической техники [Текст] / В. А. Коваленко, Н. М. Московская, В. И. Сливинский // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (68).– Х.: ХАИ, 2011. – С. 7 – 22.

Поступила в редакцию 21.12.2015.

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