

## **ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ЭТАПЕ ВЫБОРА ИХ СОСТАВА**

В многоаспектной концепции создания отечественных гражданских самолетов и их модификаций немаловажное место занимают полимерные композиционные материалы (ПКМ), объемы применения которых и уровень ответственности конструктивно-технологических решений, где они применяются, постоянно увеличиваются [1 – 10].

Можно констатировать, что, несмотря на объективные трудности, имеющие место для авиастроения Украины, в последние 15 лет отечественная авиаиндустрия не утратила на мировой арене престижа создателя современных воздушных судов с применением конструкций из ПКМ в объеме 20...25 % [3 – 4, 9 – 10].

Критерий эффективности проекта создания агрегата авиакосмической техники (АКТ) из ПКМ представляет собой интегральный комплекс разноуровневых критериев, формирование которого предопределяется проведенным обширным анализом и синтезом оптимального соотношения этих иерархических составляющих, представленных схемой формирования комплексного критерия эффективности проектирования и конструирования агрегатов воздушных судов из ПКМ (рис. 1):

1 – состав ПКМ – объемное содержание волокон и связующего, природа и свойства которых формируют эксплуатационные возможности будущей конструкции агрегата;

2 – полуфабрикаты – продукты технологической переработки исходных армирующих волокон в ПКМ, из которых предполагается изготовление агрегата (пасмы, текстили, препреги и т.п.);

3 – конструктивно-силовая схема (КСС) агрегата, определяющая вид, состав и взаимное расположение конструктивных элементов;

4 – конструктивно-технологические решения (КТР), из которых формируется КСС (детали, узлы, соединения с учетом технологии их изготовления в виде сборочных единиц);

5 – КТР формирования (сборки) агрегата с учетом его установки в планер воздушного судна.

На рис. 1 показана принципиальная блок-схема формирования комплексного критерия эффективности на этапе проектирования и конструирования агрегата воздушных судов из ПКМ, разработка которого ведется в среде научного (теоретического) и производственно-технологического сопровождения стадий его создания.

Интегральный критерий эффективности на этапе проектирования и конструирования агрегата планера самолета из ПКМ должен быть безразмерным, так как входящие в него элементы составляющих могут иметь различную размерность.

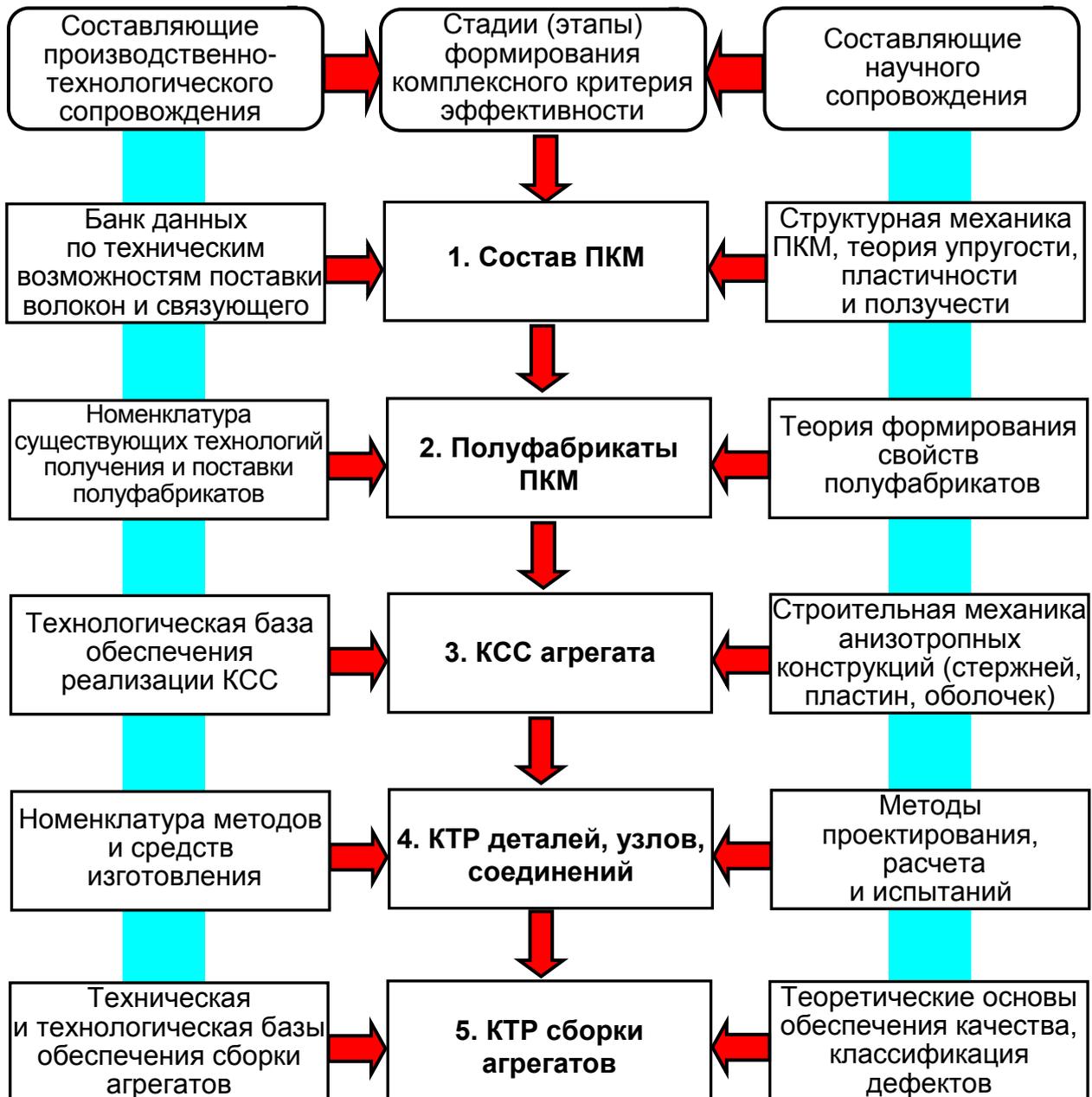


Рисунок 1 – Схема формирования комплексного критерия эффективности проектирования и конструирования агрегата воздушных судов из ПКМ

В данном случае удобно пользоваться относительным интегральным критерием, элементные составные части которого  $K_j$  отнесены к базовой  $K_{j\text{ баз}}$ . Базовые элементные составные части должны соответствовать аналогичной металлической составляющей прототипа. В подавляющем большинстве случаев в качестве базовых показателей следует брать соответствующие показатели металла или заменяемой металлической конструкции – по-видимому, алюминиевого сплава.

Относительный интегральный критерий эффективности агрегата планера самолета из ПКМ представляется оправданным записать в аддитивной форме:

$$\bar{K}_{\text{проект ПКМ}}^{\text{эф}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \xi_i \bar{K}_i^{\text{эф}}, \quad \bar{K}_i^{\text{эф}} = \frac{K_i^{\text{эф}}}{K_{i \text{ баз}}^{\text{эф}}}, \quad (1)$$

где  $\xi_i$  – доли вклада  $i$ -й составляющей относительного интегрального критерия эффективности ( $i=1, 2, \dots, 5$ );  $\bar{K}_i^{\text{эф}}$  – относительный критерий эффективности  $i$ -й составляющей интегрального критерия, определяющей стадию (этап) его формирования (рис. 1).

Аддитивная форма представляется оправданной и предпочтительной перед мультипликативной, так как последняя обращала бы относительный интегральный критерий в нуль при нулевом значении коэффициента значимости  $j$ -й составной части  $\bar{K}_i^{\text{эф}}$ .

Относительный критерий эффективности  $\bar{K}_i^{\text{эф}}$  имеет также аддитивную форму:

$$\bar{K}_i^{\text{эф}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \psi_j \bar{K}_{ij}^{\text{эф}}. \quad (2)$$

При этом число  $n$  в различных составляющих  $\psi_j$  критериях  $\bar{K}_i^{\text{эф}}$ , относящихся к разным  $i$ , чаще всего также различно.

Доля вклада каждой  $i$ -й составляющей относительного комплексного критерия эффективности  $\xi_i$  ( $i=1, 2, \dots, 5$ ) определяется экспертными оценками и зависит от вида проектируемого агрегата самолета из ПКМ и назначения самого воздушного судна или его модификации.

При этом методики формирования экспертных оценок могут быть различными, однако представляется оправданным использовать разработанную в ГП «Антонов» [13].

Как уже отмечалось выше, доля вклада каждой  $i$ -й составляющей  $\xi_i$  может быть не только различной по содержанию, но и по количеству компонент. Так, компоненты доли вклада состава  $\xi_{1k}$  представляется оправданным определить как функционально содержащие:

$\xi_{11}$  – эксплуатабельность (полнота обеспечения требований эксплуатации по ТЗ данного воздушного судна);

$\xi_{12}$  – физико-механические характеристики (ФМХ) и другие свойства выбранного состава;

$\xi_{13}$  – экономичность (стоимость приобретения, переработки в продукцию);

$\xi_{14}$  – доступность компонент состава (отечественные или импортные, паспортизованные или опытные);

$\xi_{15}$  – экологичность (включая безопасность жизнедеятельности и возможности утилизации отходов после завершения эксплуатации);

$\xi_{16}$  – престижность (привлекательность для потенциального эксплуатанта воздушного судна).

По всей видимости, компоненты доли вклада полуфабрикатов ПКМ  $\xi_{2k}$ , а также остальных составляющих относительного критерия включают в себя те же шесть составляющих, что и приведенные выше компоненты доли вклада состава  $\xi_{1k}$ .

Внимательный анализ компонент состава ПКМ  $\xi_{1k}$  и полуфабрикатов ПКМ  $\xi_{2k}$ , а также  $\xi_{3k}$ ,  $\xi_{4k}$  и  $\xi_{5k}$  позволяет установить, что их природа гармонизирована с содержанием составляющих комплексной проблемы создания эффективной авиакосмической техники из ПКМ, обсуждаемой ранее в [14].

Эти же компоненты доли вклада составляющих относительного комплексного критерия эффективности агрегатов ВС ТК из ПКМ функционально гармонизированы с укрупненной блок-схемой концепции рационального проектирования изделий РКТ из ПКМ и схемой проектного комплекса оптимизации конструктивно-технологических параметров композитных изделий этого класса [5 – 8].

Относительный интегральный критерий эффективности воздушных судов из ПКМ (1) с учетом входящих в него составляющих, определяющих пять стадий (этапов) его формирования в процессе реализации проекта, в развернутом виде можно представить как

$$\bar{K}_{\text{ПКМ}}^{\text{эф}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_{ir} \left( \frac{1}{m_j} \sum_{j=1}^{m_j} \psi_{ij} \bar{K}_{ij}^{\text{эф}} \right), \quad (3)$$

где  $\xi_{ir}$  – доли вклада  $i$ -й составляющей относительного интегрального критерия эффективности ( $i=1, 2, \dots, 5$ ): 1 – состава ПКМ (связующее такое-то + волокна такие-то: стеклопластик, углепластик, органопластик, боропластик, гибрид); 2 – типа полуфабриката; 3 – типа КСС; 4 – типа КТР; 5 – вида сборки агрегата (склейка, механическое соединение, комбинированное соединение);

$r$  – компонента доли вклада в  $\xi_i$   $i$ -го уровня разработки проекта;

$\bar{K}_{ij}^{\text{эф}}$  – относительный критерий эффективности  $i$ -й составляющей

$j$ -й компоненты интегрального критерия (например,  $\bar{K}_{11}^{\text{эф}}$  – критерий компоненты эксплуатабельности составляющей состава и т. д.);

$n$  – число составляющих ( $n=5$ );

$\psi_{ij}$  – доля вклада  $j$ -й компоненты относительного критерия  $\bar{K}_{ij}^{\text{эф}}$  (например, для  $i=1$  (состава):  $\psi_{11}$  – эксплуатабельность;  $\psi_{12}$  – экологич-

ность;  $\psi_{13}$ ,  $\psi_{14}$  – ФМХ и деформативность;  $\psi_{15}$  – экономичность состава);  $\psi_{16}$  – доступность;

$m_j$  – число компонент  $j$ -й составляющей.

При этом относительный критерий эффективности  $i$ -й составляющей ее  $j$ -й компоненты  $\bar{K}_{ij}^{\text{эф}}$  также состоит из  $\zeta$  частей:

$$\bar{K}_{ij}^{\text{эф}} = \frac{1}{K} \sum_{\zeta=1}^k \varphi_{ij\zeta\eta} \bar{K}_{ij\zeta\eta} \quad (4)$$

Здесь  $\varphi_{ij\zeta}$  – доля  $\zeta$ -й части доли вклада  $\varphi_{ij}$  в относительный критерий  $\bar{K}_{ij}^{\text{эф}}$ ;  $\zeta$  – часть (доля) вклада  $\zeta$ -й части ( $\zeta=1, 2, \dots, k$ );  $\eta$  – составная часть  $\zeta$ .

Исходя из изложенного ниже проведен синтез частного относительного критерия эффективности состава ПКМ.

Компоненты доли вклада состава  $\psi_{1k}$  представляется оправданным содержательно определить как функционально отражающие:

$\psi_{11}$  – полноту обеспечения требований ТЗ по эксплуатации (эксплуатативность);

$\psi_{12}$  – экологичность (безопасность в производстве и эксплуатации, возможность утилизации отходов после завершения эксплуатации) и технологичность);

$\psi_{13}$  – прочность при различных видах воздействий;

$\psi_{14}$  – деформативность (жесткость);

$\psi_{15}$  – экономичность (стоимость получения, переработки);

$\psi_{16}$  – доступность (отечественное или импортное сырье), уровень освоения (опытные, паспортизированные).

Приоритетность вклада  $j$ -й составляющей (индекс  $j$  в  $\varphi_{ij}$ ) представляется оправданным принять соответствующей приведенному выше. Однако эта последовательность не влияет на величину критерия. Каждая доля может быть установлена в соответствии с экспертной оценкой в диапазонах  $0 \leq \psi_{ij} \leq 1$ . Компоненты долей вклада составляющих  $\varphi_{ij\zeta}$ , установленных экспертным путем для классов связующих, армирующих волокон и состава ПКМ, имеют одинаковое содержание (номенклатуру).

Доли  $\varphi_{1k\zeta}$  в частном относительном критерии эффективности  $\bar{K}_{ij\zeta}$  для стадии прогнозирования оптимального состава ПКМ, как показали

наши экспертные оценки, в количественном аспекте одинаковы как для связующего и армирующих волокон, так и для состава ПКМ в целом.

Их можно сгруппировать в соответствии с компонентами долей  $\varphi_{ij}$  в табл. 1.

В развернутом виде критерий (4) с учетом долевыми составляющих  $\varphi_{1k\zeta}$ , приведенных в табл. 1, имеет вид

$$\bar{K}_{1j}^{\text{эф}} = \frac{1}{6} \sum_{\zeta=1}^6 \left( \sum_{\eta=1}^r \varphi_{1j\zeta\eta} \bar{K}_{1j\zeta\eta} \right), \quad (5)$$

или

$$\begin{aligned} \bar{K}_{1j}^{\text{эф}} = \frac{1}{6} & \left[ \left( \varphi_{1j11} \bar{K}_{1j11} + \varphi_{1j12} \bar{K}_{1j12} + \dots + \varphi_{1j15} \bar{K}_{1j15} \right) + \right. \\ & + \left( \varphi_{1j21} \bar{K}_{1j21} + \varphi_{1j22} \bar{K}_{1j22} + \dots + \varphi_{1j25} \bar{K}_{1j25} \right) + \\ & + \left( \varphi_{1j31} \bar{K}_{1j31} + \varphi_{1j32} \bar{K}_{1j32} + \dots + \varphi_{1j35} \bar{K}_{1j35} \right) + \\ & + \left( \varphi_{1j41} \bar{K}_{1j41} + \varphi_{1j42} \bar{K}_{1j42} + \dots + \varphi_{1j45} \bar{K}_{1j45} \right) + \\ & + \left( \varphi_{1j51} \bar{K}_{1j51} + \varphi_{1j52} \bar{K}_{1j52} + \dots + \varphi_{1j55} \bar{K}_{1j55} \right) + \\ & \left. + \left( \varphi_{1j61} \bar{K}_{1j61} + \varphi_{1j62} \bar{K}_{1j62} + \dots + \varphi_{1j65} \bar{K}_{1j65} \right) \right], \quad (6) \end{aligned}$$

где  $\bar{K}_{1j\zeta\eta}$  требуют обоснования и доопределения, проведенных ниже.

Таблица 1 – Долевые составляющие  $\varphi_{1k\zeta}$

$n$	Долевые составляющие $\zeta_{\eta}$ в $\varphi_{1k\zeta\eta}$
1	1.1 Теплостойкость 1.2 Уровень КЛТР 1.3 Уровень горючести 1.4 Уровень химической стойкости к агрессивным средам, атмосферным воздействиям (стойкость к старению) и трещиностойкости 1.5 Способность (уровень) накопления статического электричества
2	2.1 Уровень технологичности 2.2 Уровень токсичности в процессе переработки
3	3.1 Уровень доминирующей удельной статической прочности (растяжение, сжатие, сдвиг) 3.2 Уровень адгезионной способности (совместимости компонентов состава ПКМ) 3.3 Уровень удельной усталостной прочности 3.4 Уровень удельной динамической прочности 3.5 Уровень удельной акустической прочности

## Продолжение таблицы 1

$n$	Долевые составляющие $\zeta_\eta$ в $\Phi_{1k\zeta_\eta}$
4	4.1 Уровень доминирующей предельной упругой деформативности 4.2 Уровень ползучести 4.3 Способность к хрупкому разрушению (уровень предельной деформации)
5	5.1 Относительный уровень стоимости
6	6.1 Уровень доступности

Уровни относительных составляющих показателя эффективности долевых частей  $\Phi_{101}$  (табл. 1):

1.1 Относительный показатель теплостойкости продукта ПКМ определяется как

$$\bar{K}_{101\eta} = \frac{K_{\text{теплПКМ}}}{K_{\text{теплД16}}} = \frac{T_{\text{теплПКМ}}}{T_{\text{теплД16}}}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{теплПКМ}}$ ,  $T_{\text{теплД16}}$  – соответствующие предельные температуры эксплуатации ПКМ и Д16.

1.2 Относительный показатель уровня коэффициента линейного термического расширения (КЛТР)  $\alpha$ :

– для связующего

$$\bar{K}_{ij12}^{\text{связ}} = \frac{\alpha_{\text{Д16}}}{\alpha_{\text{связ}}}; \quad (8)$$

– для волокон

$$\bar{K}_{ij12}^{\text{вол}} = \frac{\alpha_{\text{вол}}}{\alpha_{\text{Д16}}}; \quad (9)$$

– для ПКМ в целом

$$\bar{K}_{102\eta} = \frac{\alpha_{\text{ПКМ}}}{\alpha_{\text{Д16}}}. \quad (10)$$

Обратная зависимость КЛТР  $\alpha_{\text{связ}}$  и  $\alpha_{\text{Д16}}$  (8) принята в целях обеспечения  $\bar{K}_{ij12}^{\text{связ}} < 1$ , соответствующей концепции формирования всех составляющих критерия эффективности, так как для всех связующих  $\alpha_{\text{связ}} > \alpha_{\text{Д16}}$ , в то время как для всех используемых на практике волокон  $\alpha_{\text{вол}} < \alpha_{\text{Д16}}$  и для однонаправленных ПКМ  $\alpha_{\text{ПКМ}} < \alpha_{\text{Д16}}$ .

1.3. Относительный показатель уровня горючести представляется оправданным принять в виде

$$\bar{K}_{103\eta} = \frac{T_{\text{загорПКМ}}}{T_{\text{пл Д16}}}, \quad (11)$$

где  $T_{\text{загорПКМ}}$  – температуры загорания ПКМ.

Для волокон следует принять составляющую критерия эффективности  $\bar{K}_{ij13}^{\text{вол}} = 0$ , так как температура возгорания некоторых типов волокон (например, углеродных) может быть выше  $T_{\text{пл Д16}}$ .

1.4. Относительный показатель уровня химической стойкости к агрессивным средам, атмосферным воздействиям и трещиностойкости в первом приближении представляется оправданным выражать с помощью интегрального коэффициента условий работы [15], записываемого в виде

$$m_{\text{усл раб}} = \frac{X}{X_0 - A \lg \frac{\tau_i}{\tau_0}}, \quad (12)$$

где  $X_0$ ,  $X$  – значения искомой характеристики до и после воздействия атмосферы и агрессивных сред;  $A$  – коэффициент;  $\tau_i$  – время воздействия вредных факторов в годах;  $\tau_0 = 0,1$  года.

При этом искомой характеристикой доминирующие разрушающие напряжения при растяжении, сжатии, изгибе, сдвиге (срезе) или модуль упругости после воздействия среды в МПа.

Под действием атмосферных факторов стеклопластики стареют. Наружная поверхность стеклопластиков при их эксплуатации на открытом воздухе без соответствующих мер защиты теряет товарный вид. Происходит растрескивание и шелушение связующего в наружном слое, стеклянное волокно выступает на поверхность изделия, материал расслаивается и, как результат этого, снижаются его многие важные показатели.

Представляется оправданным относительный показатель уровня химической стойкости к атмосферным воздействиям принять в виде

$$\bar{K}_{104\eta} = \frac{m_{\text{усл раб ПКМ}}}{m_{\text{усл раб Д16}}}, \quad (13)$$

где  $m_{\text{усл раб ПКМ}}$  – коэффициент условий работы для ПКМ, выражаемый доминирующими разрушающими напряжениями  $\sigma_{\text{вр}}$ ,  $\sigma_{\text{всж}}$ ,  $\tau_{\text{в}}$  или  $E_p$ ;  $m_{\text{усл раб Д16}}$  – коэффициент условий работы Д16, выраженный отношением критического напряжения коррозии под нагрузкой 3% в среде

$NaCl$ , равный  $\sigma_{кр, Д16} = 345$  МПа [16], к пределу прочности  $\sigma_{\epsilon} = 410$  МПа:

$$m_{\text{усл раб Д16}} = \frac{345}{410} = 0,915.$$

1.5. Уровень показателя способности накопления статического электричества. В первом приближении в его качестве следует принять электрическую прочность продукта, отнесенную к условной величине 100 МВ/м:

$$\bar{K}_{105\eta} = \frac{R_{\text{пред}}}{100}, \quad (14)$$

где  $R_{\text{пред}}$  – электрическая прочность связующего или ПКМ, МВ/м.

### 2.1. Показатели интегральной технологичности

Технологичный, позволяющий использовать в процессе производства наиболее экономичные технологические процессы. Наиболее продуктивно понятие технологичности применяется к конструкциям вообще и авиационной техники в особенности [17]. Однако представляется оправданным говорить и о технологичности составляющих ПКМ и самом композиционном материале, включая в этот показатель:

- трудоемкость получения продукта;
- себестоимость получения продукта.

Однако себестоимость получения продукта является составляющей его стоимости, которая входит в экономический показатель. Поэтому составляющую критерия эффективности  $\bar{K}_{ij21}$  следует представить как

$$\bar{K}_{ij21} = \frac{K_{\text{труд прод}}}{K_{\text{труд Д16}}}, \quad (15)$$

где  $K_{\text{труд прод}}$ ,  $K_{\text{труд Д16}}$  – показатели трудоемкости получения продукта (связующего, волокон, ПКМ) и Д16 соответственно.

### 2.2. Уровень токсичности в процессе переработки

Обстоятельное исследование технологии переработки компонентов в ПКМ проведено в [18], в которой использованы и соответствующие справочные источники по технике безопасности и охране труда [19] и ряд публикаций автора по проблеме безопасной технологии.

Исходя из этих и других источников составляющую относительного критерия эффективности  $\bar{K}_{ij22}$  можно представить как

$$\bar{K}_{ij22} = \frac{K_{\text{без прод}}}{K_{\text{без Д16}}}, \quad (16)$$

где  $K_{\text{без прод}}$ ,  $K_{\text{без Д16}}$  – интегральный (обобщенный) показатель токсичности (безопасности) производства (синтеза) продукта (связующего, во-

локон, ПКМ) в процессе его получения и аналогичный показатель получения Д16.

3. В долевых составляющих третьей группы  $\Phi_{ij3\eta}$  практически все долевые части представляется оправданным представить в виде отношений соответствующего абсолютного показателя к плотности ПКМ

$$K_{1j3\eta} = \frac{R_{1j\zeta\eta}^{\partial}}{\rho_{\text{прод}}}, \quad \eta = 1, 2, \dots, 5, \quad \text{где } R_{1j\zeta\eta}^{\partial} - \text{уровень } \eta\text{-й доминирующей}$$

прочностной характеристики продукта.

Соответствующая относительная составляющая критерия эффективности  $\bar{K}_{1j3\eta}$  будет иметь вид

$$\bar{K}_{ij3\eta} = \frac{K_{1j\zeta\eta}^{\partial}}{R_{1Д16}^{\partial} / \rho_{Д16}}. \quad (17)$$

Здесь  $R_{1Д16}^{\partial}$  – предельное значение  $\eta$ -й доминирующей характеристики Д16;  $\rho_{Д16}$  – плотность Д16.

4. Относительные долевые составляющие четвертой группы  $\Phi_{ij4\eta}$  характеризуют уровни соответствующих характеристик деформативности, отнесенных к аналогам для алюминиевого сплава Д16.

$$\bar{K}_{ij4\eta} = \frac{\varepsilon_{1j4\eta\text{прод}}^{\partial}}{\varepsilon_{1j4\eta\text{Д16}}^{\partial}}, \quad \eta = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (18)$$

где  $\varepsilon_{1j4\eta\text{прод}}^{\partial}$ ,  $\varepsilon_{1j4\eta\text{Д16}}^{\partial}$  – предельные значения  $\eta$ -й составляющей ( $\eta=1, 2, 3$ ) деформативной характеристики продукта и ее аналогичного значения Д16.

5. Долевая составляющая относительного уровня стоимости производства или приобретения продукта и Д16 определяется как

$$\bar{K}_{ij51} = \frac{C_{\text{прод}}}{C_{Д16}}, \quad (19)$$

где  $C_{\text{прод}}$ ,  $C_{Д16}$  – цены единицы продукта и Д16.

6. Долевая составляющая относительного уровня доступности приобретения или производства продукта и Д16 определяется соотношением

$$\bar{K}_{ij61} = \frac{K_{ij61\text{прод}}}{K_{ij61\text{Д16}}}, \quad (20)$$

где  $K_{ij61\text{ прод}}$  и  $K_{ij61\text{ Д16}}$  определяются экспертными оценками с использованием справочной литературы и прайс-релизов соответствующих поставщиков.

Конкретные значения входящих параметров в долевые составляющие относительных критериев эффективности, не указанных выше, определяют из справочного материала или с привлечением дополнительных источников информации, а при их отсутствии – путем известных методов прогнозирования или собственных экспериментов.

## Выводы

В результате проведенного комплексного анализа получены следующие результаты:

1. Обоснован и разработан концептуальный подход к формированию комплексного критерия эффективности применения ПКМ на этапе проектирования и конструирования агрегата воздушного судна.

2. Предложена пятиуровневая схема формирования комплексного критерия эффективности, включающего в себя следующие стадии (этапы) его формирования:

- стадия выбора состава ПКМ;
- стадия выбора полуфабрикатов ПКМ;
- этап формирования КСС агрегата;
- этап выбора КТР конструктивного элемента агрегата (деталей, узлов, соединений);
- стадия синтеза КТР сборки агрегата.

В схеме представлены также составляющие производственно-технологического и научного сопровождения синтеза этих стадий формирования критерия.

3. Для стадии (этапа) формирования критерия выбора состава ПКМ получены приближенные аналитические зависимости от входящих технико-экономических параметров.

4. Приведенные результаты в совокупности с обширной номенклатурой источников информации позволяют на данной стадии состояния внедрения ПКМ в агрегатах отечественных воздушных судов осуществить предварительный прогноз объемов применения эффективного состава композитов и последующего расширения этих объемов в зависимости от реализации тех или иных возможностей 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).

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

7. Бычков, С.А. Решение проблемы создания авиаконструкций из полимерных композиционных материалов на АНТК «Антонов» [Текст] / С.А. Бычков, В.Г. Бондарь, В.Н. Король // Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – № 8 (40). – С. 5 – 13.

8. 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. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (84). – Х., 2015. – С. 95 – 104.

9. 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.

10. 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.

11. Методология разработки эффективных конструктивно-технологических решений композитных агрегатов ракетно-космической техники: моногр. в 2 т. Т. 1. Создание агрегатов ракетно-космической техники регламентированного качества из полимерных композиционных

материалов [Текст] / А.В. Гайдачук, В.Е. Гайдачук, А.В. Кондратьев и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2016. – 263 с.

12. 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.

13. Король, В.Н. Общий подход к классификации управленческих решений в производственной сфере и некоторые аспекты его реализации [Текст] / В.Н. Король // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2003. – Вып. 18. – С. 19 – 29.

14. Кондратьев, А.В. Концепция оптимального проектирования изделий авиакосмической техники из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.В. Кондратьев // Системні технології. – 2011. – № 4(75). – С. 28 – 34.

15. Конструкционные стеклопластики [Текст] / В.И. Альперин, Н.В. Корольков, А.В. Мотавкин и др. – М.: Химия, 1979. – 360 с.

16. Белецкий, В.М. Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение): справ. [Текст] / В.М. Белецкий, Г.А. Кривов; под общ. ред. акад. РАН И.Н. Фридляндера. – К.: Коминтех, 2005. – 365 с.

17. Прялин, М.А. Оценка технологичности конструкций [Текст] / М.А. Прялин, В.М. Кульчев. – К.: Техніка, 1985. – 120 с.

18. Гайдачук, А.В. Научные основы безопасной технологии производства конструкций летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов: дис. ... д-ра техн. наук 05.07.04 / Гайдачук Александр Витальевич: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». Мин. образования и науки Украины, 2002. – 386 с.

19. Безпека життєдіяльності при проектуванні та виробництві аерокосмічних літальних апаратів: підруч. [Текст] / О.Я. Азаревич, О.В. Гайдачук, В.М. Кобрін та ін. – Х.: Харк. авиац. ін.-т, 1997. – 366 с.

*Поступила в редакцію 12.09.2016.*

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