

УДК 629.7.86

В.А. Коваленко, канд. техн. наук,  
Н.М. Московская, канд. техн. наук,  
В.И. Сливинский, д-р техн. наук

## АНАЛИЗ И МОДИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И МЕТОДОВ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИЗДЕЛИЯМ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В работе [1] был проведен анализ существующих классификационных схем иерархических уровней показателей качества (ПК) продукции применительно к конструкциям ракетно-космической техники (РКТ) из полимерных композиционных материалов (ПКМ), на основе которого нами предложен многоуровневый классификатор показателей их качества.

Ниже проведены анализ и модификация математических моделей для количественного определения ПК изделий РКТ.

Для определения ПК РКТ применяются технические методы измерений и регистрации, экспертный и расчетный [2 – 4].

В этих и других источниках в понятие ПК вкладывается его численное значение, а в понятие уровень ПК (УПК) – числовое значение отношения численных значений ПК сравниваемой (новой) продукции с ПК базовой (эталонной) продукции. Чтобы сохранить однозначность определений, будем пользоваться этой же терминологией.

Стадии определения ПК и УПК составляют квалиметрию отдельных свойств продукции или продукции в целом.

В некоторых случаях кроме методов измерений, регистрации и экспертных оценок применяются и расчетные методы, которые все равно включают в себя измеренные и (или) зарегистрированные параметры данного ПК.

Экспертный метод применяется для определения единичных ПК (ЕПК) как базовой, так и новой продукции, а также для входящих в групповые ПК (ГПК) комплексных ПК (КПК).

Для определения ГПК и КПК наиболее часто применяют два типа математических моделей [4]:<sup>\*)</sup>

- аддитивные

$$J_a = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot q_{i\sigma}}, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1; \quad (1)$$

---

<sup>\*)</sup> В [4] эти модели предлагаются для определения только КПК, что, на наш взгляд, не является обоснованным.

- мультипликативные

$$J_M = \frac{\prod_{i=1}^n q_i^{\lambda_i}}{\prod_{i=1}^n q_{i\delta}^{\lambda_i}}, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  – коэффициенты весомости  $i$ -го ЕПК;  $q_i$  –  $i$ -й ЕПК;  $q_{i\delta}$  – базовые ЕПК;  $J_a$ ,  $J_M$  – ГПК или КПК.

В [5] на основе [3] вводится несколько иная форма аддитивных и мультипликативных моделей:

$$J_a = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \left( \frac{q_i}{q_{i\delta}} \right), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1; \quad (3)$$

$$J_M = \prod_{i=1}^n \left( \frac{p_i}{p_{i\delta}} \right)^{\lambda_i}, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1. \quad (4)$$

Использование (3) и (4) приводит, очевидно, к другому численному результату по сравнению с (1) и (2).

Кроме того, в [5] вводится третий тип математической модели, являющейся в принципе аддитивной, но учитывающей сложный (нелинейный) характер зависимости между ЕПК:

$$J_a' = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot f \left( \frac{q_i}{q_{i\delta}} \right), \quad (5)$$

где  $f \left( \frac{q_i}{q_{i\delta}} \right)$  – некоторая нелинейная функция ЕПК.

Модель (5) вскрывает физическую (или экономическую) природу возможного взаимного влияния ЕПК друг на друга принципиально иную, нежели коэффициенты весомости  $\lambda_j$ .

В своей сущности модель (5) может быть представлена в виде функции регрессии [6]

$$J_a' = q_0 + \lambda_1 \cdot \left( \frac{q_1}{q_{i1}} \right) + \lambda_2 \cdot \left( \frac{q_2}{q_{i2}} \right) + \lambda_{12} \cdot \left( \frac{q_1 \cdot q_2}{q_{i1} \cdot q_{i2}} \right) + \dots, \quad (6)$$

где  $q_0$  – некоторый безразмерный коэффициент (в частном случае  $q_0 = 0$ ).

Использование (6) вместо (5) открывает возможность объективного нахождения  $J_a'$  методами регрессионного анализа и снимает неопреде-

ленность или искусственность (многозначность) априорного задания

$$f_i \left( \frac{q_i}{q_{i\delta}} \right).$$

Использование (6) с нелинейными членами даже второго порядка позволяет формулировать и решать оптимизационную задачу нахождения  $J_{a\text{opt}}'$ .

Определяя экстремумы изменения  $J_a'$  по параметрам  $\frac{q_i}{q_{i\delta}}$ :

$$\frac{\partial J_a'}{\partial \left( \frac{q_1}{q_{\delta 1}} \right)} = \lambda_{11} + \lambda_{12} \left( \frac{q_2}{q_{\delta 2}} \right) + \dots + \lambda_{1k} \left( \frac{q_k}{q_{\delta k}} \right) = 0,$$

...

$$\frac{\partial J_a'}{\partial \left( \frac{q_k}{q_{\delta k}} \right)} = \lambda_{k1} + \lambda_{k2} \left( \frac{q_2}{q_{\delta 2}} \right) + \dots + \lambda_{k(k-1)} \left( \frac{q_{k-1}}{q_{\delta k-1}} \right) = 0,$$
(7)

а затем разрешая систему алгебраических уравнений (7) относительно  $\frac{q_i}{q_{i\delta}}$ , найдем их значения, соответствующие  $J_{a\text{opt}}'$ .

Несмотря на очевидную простоту использования нелинейных регрессионных моделей для определения оптимальных (в данном случае - максимальных) значений аргумента, автору не известны попытки реализации такого подхода.

В определенной степени применение предлагаемой модели определения УПК связано с трудностями обоснованной экстраполяции полученных  $\lambda_j, \lambda_{ij}$  при использовании данных конечной выборки.

Однако эти трудности для применения модели (6) и последующего решения оптимизационной задачи (7) вполне преодолимы в рамках производства однотипной продукции – РКТ.

При анализе математических моделей определения ПК иерархического уровня выше ЕПК возникает проблема выбора коэффициентов весоности входящих ПК.

В известной нам литературе [3, 4, 7 – 14 и др.] они выбираются методом экспертных оценок. В [14] отмечается, что выбор коэффициентов весоности обычно устанавливается отраслевыми НИИ экспертными методами и периодически пересматривается.

В [12] методы квалиметрии подразделяются на экспертные, индексный, таксономические, вероятностно-статистические.

Экспертные методы оценки ПК и УПК в настоящее время получили наиболее широкое распространение [11, 14 – 16].

Индексная квалиметрия как теория измерения и оценки ПК объектов и процессов во времени и пространстве с помощью индексов, основана на аппарате экономической теории индексов [7 – 9].

Таксономические методы основаны на понятиях класс-качества (квалитаксон) классифицирующих систем [9, 15]. К разновидности таксономических методов можно отнести шкальную систему (шкала отношений, порядка, интервалов ПК) [11].

**1. Синтез моделей ЕПК и ГПК комплексного показателя качества, формирующих потребительское качество продукции.**

Определим ЕПК, входящие в каждый ГПК в соответствии с предложенным нами в [1] классификатором иерархической схемы показателей качества РКТ).

**1.1 (ГПК)<sub>назн</sub>**, определяющий назначение изделия и ее элементов.

1.1.1 Регламент несущей способности  $\bar{q}_R$ .

Среди множества параметров, обеспечивающих несущую способность конструкций РКТ и ее элементов, представляется обоснованным выделить максимальный расчетный (предельный) коэффициент перегрузки [17]

$$n_{max}^p = n_{max}^э f_{max} = q_R, \quad (8)$$

где  $n_{max}^э$  – максимальный коэффициент эксплуатационной перегрузки проектируемой РКТ;  $f_{max}$  – максимальный коэффициент безопасности проектируемой РКТ.

Аналогичные параметры базового РКТ (аналога) соответственно будут иметь вид

$$n_{maxб}^p = n_{maxб}^э f_{maxб} = q_{Rб}. \quad (9)$$

Тогда ЕПК несущей способности будет представлен как

$$\bar{q}_R = \frac{q_R}{q_{Rб}} = \frac{n_{max}^э f_{max}}{n_{maxб}^э f_{maxб}}. \quad (10)$$

1.1.2 Регламент жесткости  $\bar{q}_W$ .

ЕПК жесткости можно обоснованно представить в виде отношения максимального относительного перемещения конструкции ТС  $\bar{W}_{max}$ ,

равного  $\bar{W}_{max} = \frac{W_{max}}{L_{кр}}$ , к аналогичному параметру базовой конструкции

РКТ  $\bar{W}_{max б} = \frac{W_{max б}}{L_{кр б}}$ :

$$\bar{q}_w = \frac{\bar{W}_{max}}{\bar{W}_{max б}} = \frac{W_{max} L_{кр б}}{W_{max б} L_{кр}}, \quad (11)$$

где  $L_{кр}$ ,  $L_{кр б}$  – характерные геометрические параметры конструкции РКТ и базового аналога.

### 1.1.3 Регламент колебаний (вибраций) $\bar{q}_v$ .

ЕПК колебаний по аналогии с реализованным выше подходом представим в виде

$$\bar{q}_v = \frac{q_v}{q_{v б}} = \frac{v_{кр}}{v_{кр б}}, \quad (12)$$

где  $v_{кр}$ ,  $v_{кр б}$  – критические собственные частоты колебаний проектируемой РКТ и базового варианта (аналога).

При представленных выше формах ЕПК ГПК назначения РКТ и ее элементов может быть записан в соответствии с аддитивной математической моделью

$$(\text{ГПК})_{назн} = \sum_{i=1}^3 \bar{q}_i K_i, \quad (13)$$

где  $i = R, W, v$ ;  $K_i$  – экспертные коэффициенты весомости входящих ЕПК.

Однако для данного ГПК аддитивная модель может оказаться недостаточно точной вследствие специфики входящих ЕПК, так как экспертная оценка важности коэффициентов их весомости представляется несколько неопределенной ввиду их возможной одинаковой важности. Поэтому при наличии достаточного статистического материала в виде функции регрессии (6), учитывающей взаимодействие входящих ЕПК,

$$(\text{ГПК})_{назн} = a_0 + \sum_{i=1}^3 \lambda_i \bar{q}_i + \lambda_{12} \bar{q}_R \bar{q}_W + \lambda_{13} \bar{q}_R \bar{q}_v + \lambda_{23} \bar{q}_W \bar{q}_v. \quad (14)$$

$(i = R, W, v)$

**1.2**  $(\text{ГПК})_{точн}$ , определяющий точность изготовления и функционирования РКТ и ее элементов.

1.2.1 В качестве ЕПК, определяющего предельный допуск на разброс свойств входящих материалов элементов конструкций РКТ, представляется обоснованным принять отношение

$$\bar{q}_{\text{мат}} = \frac{q_{\text{мат}}}{q_{\text{мат б}}} = \frac{V_{\text{мат}}}{V_{\text{мат б}}}, \quad (15)$$

где  $V_{\text{мат}}$ ,  $V_{\text{мат б}}$  – максимально допустимые коэффициенты вариации свойств материалов элементов проектируемой конструкции и базового аналога.

1.2.2 В качестве ЕПК, определяющего предельные значения параметров на операции и техпроцессы (ТП) изготовления элементов РКТ следует принять отношение допусков на максимально допустимое отклонение параметров операций и (или) ТП от регламентированных в технологической документации  $\delta_{\text{отп}}$  и  $\delta_{\text{отп б}}$

$$\bar{q}_{\text{отп}} = \frac{(q_{\text{отп}})_{\text{max}}}{(q_{\text{отп}})_{\text{max б}}} = \frac{\delta_{\text{отп}}}{\delta_{\text{отп б}}}. \quad (16)$$

1.2.3 ЕПК, регламентирующий предельный допуск на параметры функционирования конструкции РКТ и ее элементов в конструкторской документации (КД) или в документах на эксплуатацию, можно представить в виде

$$\bar{q}_{\text{функц}} = \frac{q_{\text{функц}}}{q_{\text{функц б}}} = \frac{(\delta_{\text{функц}})_{\text{max}}}{(\delta_{\text{функц}})_{\text{max б}}}, \quad (17)$$

где  $(\delta_{\text{функц}})_{\text{max}}$ ,  $(\delta_{\text{функц}})_{\text{max б}}$  – максимальные отклонения критического параметра функционирования проектируемой и базовой конструкции от регламентированных в КД.

**1.3 (ГПК)<sub>над</sub>**, определяющий надежность РКС и (или) ее элементов, которую составляют четыре ЕПК [11].

1.3.1 ЕПК безотказности, характеризующий свойство ТС сохранять работоспособность в течение времени  $\tau$  до первого отказа  $\tau_0$ :

$$\bar{q}_{\text{безотк}} = \frac{q_{\text{функц}}}{q_{\text{функц б}}} = \frac{P_{\text{безотк}}(\tau < \tau_0)}{P_{\text{безотк б}}(\tau < \tau_{0 б})}, \quad (18)$$

где  $P_{\text{безотк}}$ ,  $P_{\text{безотк б}}$  – вероятность безотказной работы проектируемой конструкции РКС и базовой.

$$P_{\text{безотк}}(\tau) = \exp\left[-\int_0^{\tau} \lambda(\tau) d\tau\right],$$

где интенсивность отказов  $\lambda(\tau)$  зависит от изменения  $P_{\text{безотк}}$  во вре-

$$\text{мени } \lambda(\tau) = \frac{1}{P(\tau)} \frac{dP(\tau)}{d\tau}.$$

1.3.2 ЕПК долговечности, характеризующий свойства РКТ сохранять работоспособность до наступления предельного состояния (ресурса РКТ):

$$\bar{q}_{\text{долг}} = \frac{T_{\text{сл}}}{T_{\text{слб}}} = \frac{\int_0^{\infty} T_p \psi(\tau_{\text{сл}}) d\tau}{\int_0^{\infty} T_{pб} \psi(\tau_{\text{слб}}) d\tau}, \quad (19)$$

где  $T_{\text{сл}}, T_{\text{слб}}$  – средний срок службы от начала эксплуатации до наступления предельного состояния проектируемой конструкции РКТ и базовой;  $T_p, T_{pб}$  – ресурс проектируемой конструкции РКТ и базовой;  $\psi(\tau_{\text{сл}}), \psi(\tau_{\text{слб}})$  – плотность вероятности времени срока службы проектируемой РКТ и базовой.

1.3.3 ЕПК ремонтпригодности, характеризующей свойство РКТ приспособляться к восстановлению работоспособности путем технического обслуживания и ремонта:

$$\bar{q}_{\text{рем}} = \frac{T_{\text{восст}}}{T_{\text{восстб}}} = \frac{\int_0^{\infty} \tau_{\text{рем}} \psi(\tau_{\text{рем}}) d\tau}{\int_0^{\infty} \tau_{\text{ремб}} \psi(\tau_{\text{ремб}}) d\tau}, \quad (20)$$

где  $T_{\text{восст}}, T_{\text{восстб}}$  – среднее время восстановления конструкции РКТ;  $\psi(\tau_{\text{рем}}), \psi(\tau_{\text{ремб}})$  – плотность вероятности времени ремонта  $\tau_{\text{рем}}$  и  $\tau_{\text{ремб}}$ .

1.3.4 ЕПК сохраняемости, характеризующей способность объекта сохранять в заданных пределах значения параметров выполнения его функционального назначения в течение хранения, транспортировки и в последующее время:

$$\bar{q}_{\text{сохр}} = \frac{T_{\text{сохр}}}{T_{\text{сохрб}}} = \frac{\int_0^{\infty} \psi(\tau_{\text{сохр}}) d\tau}{\int_0^{\infty} \psi(\tau_{\text{сохрб}}) d\tau}, \quad (21)$$

где  $T_{\text{сохр}}, T_{\text{сохрб}}$  – среднее время сохраняемости;  $\psi(\tau_{\text{сохр}}), \psi(\tau_{\text{сохрб}})$  – плотность вероятности времени сохраняемости  $\tau_{\text{сохр}}$  и  $\tau_{\text{сохрб}}$ .

Для  $(ГПК)_{над}$  наиболее обоснованной моделью представляется аддитивная модель, аналогичная (13), включающая четыре ЕПК. При накоплении статистических данных может оказаться более точной регрессионная модель типа (14). Однако вследствие большого количества ЕПК эффективность этой модели вызывает сомнение.

**1.4  $(ГПК)_{эрг}$** , регламентирующий эргономические характеристики РКТ, характеризующие соответствие ее конструкции взаимодействию с оператором. В классификаторе [1] синтезированы четыре ЕПК.

1.4.1 ЕПК, определяющий гигиенический дискомфорт оператора (утомляемость):

$$\bar{q}_{гиг} = \frac{q_{гиг}}{q_{гигб}}. \quad (22)$$

1.4.2 ЕПК, определяющий психологический дискомфорт оператора (раздражительность):

$$\bar{q}_{псих} = \frac{q_{псих}}{q_{психб}}. \quad (23)$$

1.4.3 ЕПК, вызывающий антропологический дискомфорт (неудобство выполнения функций) оператора:

$$\bar{q}_{антр} = \frac{q_{антр}}{q_{антрб}}. \quad (24)$$

1.4.4 ЕПК, вызывающий физиологический дискомфорт оператора (негативное воздействие на жизненные функции):

$$\bar{q}_{физ} = \frac{q_{физ}}{q_{физб}}. \quad (25)$$

Для исследованных выше ЕПК, входящих в  $(ГПК)_{эрг}$ , наиболее обоснованной как в плане количества, так и вероятного способа определения экспертным методом, представляется аддитивная модель ГПК, аналогичная (13)

$$(ГПК)_{эрг} = \sum_{i=1}^4 \bar{q}_i K_i, \quad (26)$$

где  $i$  соответствует индексам «гиг», «псих», «антр» и «физ».

**1.5  $(ГПК)_{эст}$** , регламентирующий эстетические характеристики РКТ и (или) ее элементов, включает согласно классификатора [1] три ЕПК.

1.5.1. ЕПК, определяющий рациональность формы конструкции РКТ и (или) ее элементов, имеет вид

$$\bar{q}_{p\phi} = \frac{q_{p\phi}}{q_{p\phi б}}. \quad (27)$$

1.5.2 ЕПК, определяющий целостность конструкции, следует представить аналогичным образом:

$$\bar{q}_{цел} = \frac{q_{цел}}{q_{цел б}}. \quad (28)$$

1.5.3 ЕПК, реализующий совершенство КТР РКТ, также имеет аналогичную форму

$$\bar{q}_{сов} = \frac{q_{сов}}{q_{сов б}}. \quad (29)$$

Очевидно, что модель  $(ГПК)_{эст}$  для РКТ должна иметь аддитивную форму (13) с весовыми коэффициентами, обоснованными экспертами.

**1.6**  $(ГПК)_{трансп}$ , определяющий транспортабельность РКТ и ее элементов, является вырожденным, так как включает в себя единственный ЕПК

$$\bar{q}_{трансп} = \frac{q_{трансп}}{q_{трансп б}} = (ГПК)_{трансп}. \quad (30)$$

**1.7**  $(ГПК)_{без}$ , определяющий безопасность РКТ и ее элементов, содержит два ЕПК.

1.7.1 ЕПК, обеспечивающий регламент вредных воздействий на персонал в процессе производства РКТ и ее элементов:

$$\bar{q}_{без пр} = \frac{q_{без пр}}{q_{без пр б}}, \quad (31)$$

где абсолютные значения ЕПК  $q_{без пр}$  и базового варианта  $q_{без пр б}$  определяются на основе интегрального влияния вредных факторов производства в соответствии с существующими нормами и требованиями (например, [18]) по балльной экспертной оценке.

1.7.2 ЕПК, регламентирующий уровень вредных воздействий конструкции РКТ и ее элементов при ее функционировании, обслуживании, транспортировке и хранении:

$$\bar{q}_{без эксп} = \frac{q_{без эксп}}{q_{без эксп б}}, \quad (2.45)$$

где  $q_{без эксп}$  и  $q_{без эксп б}$  определяются аналогично п. 1.7.1.

Наиболее приемлемой математической моделью  $(ГПК)_{без}$  для

РКТ представляется аддитивная в форме (13), а при наличии статистических данных – (14), позволяющая учесть взаимовлияние ЕПК друг на друга.

После вычисления всех ГПК, входящих в  $(КПК)_{потр}$ , последний представляется оправданным определять по аддитивной модели, так как регрессионная модель потребовала бы наличия чрезвычайно большой статистической выборки для вычисления коэффициентов регрессии, учитывающих даже только попарное взаимное влияние  $(ГПК)_i$  ( $i=1, 2, \dots, 7$ ), равного  $N = 1 + m + C_m^n$ , где  $C_m^n$  – сочетание из  $m$  элементов по  $n$  при  $m=7, n=2$ ):

$$(КПК)_{потр} = \sum_{i=1}^7 K_i (ГПК)_i, \quad (33)$$

где  $K_i$  – весовые коэффициенты вклада  $i$ -го  $(ГПК)_i$  в  $(КПК)_{потр}$  ( $\sum_{i=1}^7 K_i = 1$ ).

**2.** Синтез моделей единичных и групповых показателей качества, формирующих экономические, производственные и ограничивающие производство и рынок комплексные показатели качества продукции. При анализе и синтезе моделей ЕПК и ГПК комплексного экономического ПК РКТ и последующих составляющих ее ИПК вследствие реализации совершенно идентичного подхода, использованного выше п. 1, ограничимся табличным представлением моделей ЕПК и ГПК КПК экономичности продукции (табл. 1), согласованным классификатором [1].

Результаты синтеза моделей ЕПК и ГПК комплексного показателя качества, формирующего технологичность продукции, представлены в табл. 2, а аналогичные результаты для комплексного показателя качества, ограничивающего производство и рынок, - в табл. 3.

Таблица 1 – Предпочтительные модели ЕПК, ГПК и КПК экономичности РКТ

Формула ЕПК	Расшифровка входящих параметров ЕПК	Формула ГПК	Формула $(КПК)_{ЭК}$
$\bar{q}_{рц} = \frac{q_{рц}}{q_{рцб}} \quad (34)$	$q_{рц} = Ц$ , где $Ц, Цб$ – цена централизованно-фиксированная, договорная или мировая (см. [19])		
$\bar{q}_{зпр} = \frac{q_{зпр}}{q_{зпрб}} \quad (35)$	$q_{зпр} = З_{пр}$ , где $З_{пр}, З_{прб}$ – прогнозируемые и базовые затраты на разработку проекта РКТ (см. [20])	$(ГПК)_{цмп} = \sum_{i=1}^3 K_i \bar{q}_i \quad (41)$ $i \in рц, зупр, зизг$	
$\bar{q}_{зизг} = \frac{q_{зизг}}{q_{зизгб}} \quad (36)$	$q_{зизг} = З_{изг}$ , где $З_{изг}, З_{изгб}$ – прогнозируемые и базовые затраты на подготовку и производство РКТ [19 – 21]		$(КПК)_{ЭК} = \sum_{i=1}^3 K_i (ГПК)_i \quad (46)$ $i \in цмп, зэ, зу$
$\bar{q}_{зс} = \frac{q_{зс}}{q_{зсб}} \quad (37)$	$q_{зс} = З_c$ , где $З_c, З_{сб}$ – прогнозируемые и базовые затраты на содержание РКТ в состоянии готовности к функционированию	$(ГПК)_{зэ} = \sum_{i=1}^2 K_i \bar{q}_i \quad (42)$ $i \in зс, зэ$	
$\bar{q}_{зэ} = \frac{q_{зэ}}{q_{зэб}} \quad (38)$	$q_{зэ} = З_{эсп}$ , где $З_{эсп}, З_{эспб}$ – прогнозируемые и базовые расходы на эксплуатацию РКТ	$(ГПК)_{зэ} = a_0 + a_1 \bar{q}_{зс} + a_2 \bar{q}_{зэ} + a_3 \bar{q}_{зс} \bar{q}_{зэ} \quad (43)$	или
$\bar{q}_{зм} = \frac{q_{зм}}{q_{змб}} \quad (39)$	$q_{зм} = З_m$ , где $З_m, З_{мб}$ – прогнозируемые и базовые затраты на маркетинг базы, средств и способов утилизации РКТ	$(ГПК)_{зу} = \sum_{i=1}^2 K_i \bar{q}_i \quad (44)$ $i \in зм, зу$	$(КПК)_{ЭК} = b_0 + b_1 (ГПК)_{цмп} + b_2 (ГПК)_{зэ} + b_3 (ГПК)_{зу} + b_4 (ГПК)_{цмп} \cdot (ГПК)_{зэ} + b_5 (ГПК)_{цмп} \cdot (ГПК)_{зу} + b_6 (ГПК)_{зэ} \cdot (ГПК)_{зу} \quad (47)$
$\bar{q}_{зу} = \frac{q_{зу}}{q_{зуб}} \quad (40)$	$q_{зу} = З_y$ , где $З_y, З_{yb}$ – прогнозируемая и базовая прибыль от утилизации РКТ	$(ГПК)_{зу} = a_0 + a_1 \bar{q}_{зм} + a_2 \bar{q}_{зу} + a_3 \bar{q}_{зм} \bar{q}_{зу} \quad (45)$	

Таблица 2 – Предпочтительные модели ЕПК, ГПК и КПК технологичности РКТ

Формула ЕПК	Расшифровка входящих параметров ЕПК	Формула ГПК	Формула $(КПК)_{mex}$
$\bar{q}_{пцп} = \frac{q_{пцп}}{q_{пцпб}} \quad (48)$	$q_{пцп} = T_{ц} = \sum_{j=1}^k (T_{цo j} + T_{пер j}),$ <p>где <math>T_{цo j}</math> – продолжительность цикла <math>j</math>-й операции, <math>T_{пер j}</math> – время межоперационных перерывов, <math>k</math> – число последовательных операций на критическом пути [22]</p>		
$\bar{q}_{спз} = \frac{q_{спз}}{q_{спзб}} \quad (49)$	$q_{спз} = \frac{C_{пл}}{Ц_{опт}}$ <p>где <math>C_{пл}</math> – плановая себестоимость изделия, <math>Ц_{опт}</math> – оптовая цена изделия [23]</p>		$(КПК)_{mex} = \sum_{i \in o, ч, мех} K_i (ГПК)_i \quad (52)$
$\bar{q}_{mp} = \frac{q_{mp}}{q_{mpб}} \quad (50)$	$q_{mp} = T_{роп} = \sum_{i=1}^m T_{рпп} n_i = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m T_{p0} m_i =$ $= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left( \sum_{k=1}^k K_{ni} K_{ki} t_i \right) m_i$ <p>где <math>T_{роп}</math> – трудоемкость объекта производства; <math>T_{рпп}</math> – трудоемкость ПП над объектом производства; <math>n_i</math> – количество повторений операций ПП; <math>m_i</math> – общее количество операций ПП; <math>K_{ni}, K_{ki}</math> – коэффициенты, учитывающие профессию и квалификацию; <math>t_i</math> – время участия каждого исполнителя в ПП [22]</p>	$(ГПК)_{o, ч, мех} = \sum_{i=1}^3 K_i \bar{q}_i$ <p><math>i \in пцп, епз, mp</math></p> <p>(51)</p>	<p>или</p> $(КПК)_{mex} = b_0 + b_1 (ГПК)_{o, ч, мех} + b_2 (ГПК)_{ч, мех} + b_3 (ГПК)_{o, ч, мех} (ГПК)_{ч, мех} \quad (53)$

Продолжение таблицы 2

Формула ЕПК	Расшифровка входящих параметров ЕПК	Формула ГПК	Формула $(КПК)_{mex}$
$\bar{q}_{вз} = \frac{q_{вз}}{q_{взб}} \quad (54)$	$q_{вз} = \frac{N_{вз}}{N}$ , где $N$ – общее количество деталей, входящих в изделия; $N_{вз}$ – количество взаимозаменяемых деталей		
$\bar{q}_{ким} = \frac{q_{ким}}{q_{кимб}} \quad (55)$	$q_{ким} = K_{ким}$ – коэффициент использования материала $K_{ким} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{G_{детi}}{G_{заг}}$ , где $G_{дет}$ , $G_{заг}$ – вес детали и заготовки		$(КПК)_{mex} = \sum_{i \in o\text{ мех}, ч\text{ мех}}^2 K_i (ГПК)_i \quad (58)$
$\bar{q}_{ступ} = \frac{q_{ступ}}{q_{ступб}} \quad (56)$	$q_{ступ} = K_{ni} + K_{пр}(1-i) = \frac{N}{n}i + \frac{N-n_0}{n}(1-i)$ , где $K_n, K_{пр}$ – коэффициенты повторяемости и применяемости; $i < 1$ – весовой коэффициент; $N, n$ – общее количество частей изделия и количество типоразмеров применяемых в изделии; $n_0$ – количество оригинальных частей изделия [11]	$(ГПК)_{ч\text{ мех}} = \sum_{i \in вз, зким, ступ}^3 K_i \bar{q}_i \quad (57)$	или $(КПК)_{mex} = b_0 + b_1(ГПК)_{o\text{ мех}} + b_2(ГПК)_{ч\text{ мех}} + b_3(ГПК)_{o\text{ мех}}(ГПК)_{ч\text{ мех}} \quad (59)$

Таблица 3 – Предпочтительные модели иерархических уровней показателей качества, ограничивающих производство и рынок

Формула ЕПК	Расшифровка входящих параметров ЕПК	Формула ГПК	Формула $(КПК)_{эк}$
$\bar{q}_{пз} = \frac{q_{пз}}{q_{пзб}}$ (60)	$q_{пз} = \frac{N_{пз}}{N}$ , где $N_{пз}$ – количество КТР и узлов изделия, защищенных патентами; $N$ – общее количество узлов изделия	$(ГПК)_{пат} = \sum_{i \in пз, обн, ор}^3 K_i \bar{q}_i$ (66)	$(КПК)_{опр} = \sum_{i \in пат, экол}^2 K_i (ГПК)_i$ (68)  или
$\bar{q}_{обн} = \frac{q_{обн}}{q_{обнб}}$ (61)	$q_{обн} = \frac{N_{обн}}{N_{пзо}}$ , где $N_{обн}$ – количество КТР и узлов, защищенных новыми патентами; $N_{пзо}$ – общее количество КТР и узлов изделия, защищенных патентами		
$\bar{q}_{ор} = \frac{q_{ор}}{q_{орб}}$ (62)	$q_{ор} = \frac{N_{отеч}}{N_{заруб}}$ , где $N_{отеч}$ – количество КТР и узлов, защищенных отечественными патентами; $N_{заруб}$ – количество зарубежных патентов, реализованных в изделии		
$\bar{q}_{ввп} = \frac{q_{ввп}}{q_{ввпб}}$ (63)	$q_{ввп} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{ввпi}$ , где $N_{ввпi}$ – индекс вредных воздействий $i$ -й операции по экспертной оценке или документированным регламентам; $n$ – количество операций, содержащих ненулевой уровень вредных воздействий [18]	$(ГПК)_{экол} = \sum_{i \in ввп, ввф, вву}^3 K_i \bar{q}_i$ (67)	$(КПК)_{опр} = b_0 + b_1(ГПК)_{пат} + b_2(ГПК)_{экол} + b_3(ГПК)_{пат}(ГПК)_{экол}$ (69)
$\bar{q}_{ввф} = \frac{q_{ввф}}{q_{ввфб}}$ (64)	$q_{ввф} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{ввфи}$ – то же, что и в $q_{ввп}$ , отнесенное к функционированию изделия		
$\bar{q}_{вву} = \frac{q_{вву}}{q_{ввуб}}$ (65)	$q_{вву} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{ввуй}$ – то же, что и в $q_{ввп}$ , отнесенное к утилизации изделия		

## Выводы

Обоснованы математические модели и методы определения единичных, групповых и комплексных показателей качества, входящих в предложенный нами многоуровневый классификатор всех иерархических уровней квалиметрических характеристик конструкций РКТ. Эти результаты могут быть положены в основу разработки научно обоснованных методов и документов обеспечения соответствия агрегатов РКТ прогнозируемому уровню их интегрального качества и соответствующей международным стандартам системы управления качеством в процессе производства конструкций данного класса.

### Список использованных источников

1. Коваленко, В.А. Показатели качества этапов жизненного цикла конструкций ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов [Текст] / В.А. Коваленко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 50. – Х.: ХАИ, 2011. – С. 128 – 140
2. Азгальцев, Г.Г. О квалиметрии [Текст] / Г.Г. Азгальцев, Э.П. Райхман. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 172 с.
3. Андрианов, Ю.М. Квалиметрические аспекты управления качеством новой техники [Текст] / Ю.М. Андрианов, М.В. Лопатин. – Л.: ЛГУ, 1983. – 288 с.
4. Андрианов, Ю.М. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении [Текст] / Ю.М. Андрианов, А.И. Суббето. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отдел., 1990. – 216 с.
5. ГОСТ 1.25-76 Метрологическое обеспечение. Основные положения. – введ. 01.07.1977 // Государственная система стандартизации. – М.: ГК СССР по стандартизации, 1986. – С. 225 – 236 с.
6. Демиденко, Е.В. Линейная и нелинейная регрессии [Текст] / Е.В. Демиденко. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
7. Суббето, А.И. Квалиметрия: в 6 ч. [Текст] / А.И. Суббето. – Л.: ВИКИ им. А.Ф.Можайского, 1981. – Ч. 2: Экспертная квалиметрия. – 65 с.
8. Суббето, А.И. Квалиметрия: в 6-ти частях [Текст] / А.И. Суббето. – Л.: ВИКИ им. А.Ф.Можайского, 1981. – Ч. 3: Индексная квалиметрия. – 43 с.
9. Суббето, А.И. Квалиметрия: в 6 ч. [Текст] / А.И. Суббето. – Л.: ВИКИ им. А.Ф.Можайского, 1981. – Ч. 4: Квалиметрическая таксономия. – 48 с.
10. Азгальцев, Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) [Текст] / Г.Г. Азгальцев. – М.: Экономика, 1982. – 256 с.
11. Качество и сертификация промышленной продукции: учеб. по-

собие [Текст] / А.Г. Гребеников, А.К. Мялица, В.М. Рябченко и др. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 396 с.

12. Бурдаков, В.Д. Квалиметрия транспортных средств [Текст] / В.Д. Бурдаков. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 160 с.

13. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 124 с.

14. Оценка технического уровня и уровня качества оборудования для производства изделий электронной техники. РД 11 20.0021-89. ВИНТИ «Электротранспорт», 1989. – 11 с.

15. Дружинин, Г.В. Методы оценки и прогнозирования качества [Текст] / Г.В. Дружинин. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.

16. Саркисян, С.А. Экологическая оценка летательных аппаратов [Текст] / С.А. Саркисян, Э.С. Минаев. – М.: Машиностроение, 1972. – 180 с.

17. Лебедев, А.А. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов [Текст] / А.А. Лебедев, Л.С. Чернобровкин. – М.: Машиностроение, 1973. – 616 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. – Х., 2002. – 386 с.

19. Бабушкин, А.И. Экономика предприятия [Текст] / А.И. Бабушкин. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – 449 с.

20. Беляков, И.Т. Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов [Текст] / И.Т. Беляков, Ю.Д. Борисов. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

21. Расчеты экономической эффективности новой техники [Текст]: справ. / под ред. К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, 1975. – 432 с.

22. Тарасов, В.А. Теоретические основы технологии ракетостроения [Текст] / В.А. Тарасов, Л.А. Кашуба; под ред. В.А. Тарасова. – М.: Изв-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 352 с.

23. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Текст] / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; Под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

*Поступила в редакцию 21.10.2011.*

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