

doi: 10.32620/oikit.2021.94.01

УДК 629.7.002:621.762

С. А. Бычков, М. Н. Журибеда

## **Приближенный метод экспертных оценок эффективности применения полимерных композиционных материалов в конструкциях гражданских самолетов на основных этапах жизненного цикла**

*Государственное предприятие «АНТОНОВ», Украина*

В связи с ростом применения полимерных композиционных материалов во всем мире и в отечественном самолетостроении в гражданских самолетах транспортной категории актуальной проблемой становится анализ прогнозирования методов их применения на основных этапах жизненного цикла существования этого класса конструкций.

Эффективность как соотношение между достигнутым результатом и затраченными на его достижение ресурсами может быть интерпретирована как соотношение между суммарными показателями качества создаваемого объекта и суммарными затратами.

Однако показатели качества являются такими метрологическими характеристиками, количественное измерение которых в большинстве случаев вызывает трудности или практически невозможно. В связи с этим квалиметрические показатели качества обретают квалиметрическую форму качественных характеристик. Квалиметрические характеристики позволяют оперировать при их анализе продуктивным методом экспертных оценок критериев эффективности реализации любого объекта, в том числе и композитных конструкций агрегатов самолета. В качестве критерия прогнозирования эффективного объема применения композитных конструкций предложен аналог критерия Томашевича как относительной суммы показателей качества композитных агрегатов определенного класса, отнесенной к показателю суммарных расходов ресурсов на обеспечение показателя числителя по всем этапам жизненного цикла композитных конструкций с учетом коэффициентов значимости каждого показателя качества на стадиях их жизненного цикла. Численные значения каждого уровня этапов жизненного цикла оцениваются экспертом по предложенным пятиуровневым генеральным определительным таблицам с последующим суммированием показателей критерия по этапам жизненного цикла, позволяя определить как эффективность использования композитов на отдельных этапах, так и ее интегральное значение по всем основным этапам. Относительное значение критерия эффективности может быть представлено в денежном выражении умножением его на эквивалент, установленный на основе метрологических (квалиметрических) методов и средств оценивания результатов конкретного производства.

**Ключевые слова:** гражданские воздушные суда, полимерные композиционные материалы, метрологическое обеспечение авиационных конструкций, критерий эффективности, квалиметрические показатели, показатели качества авиационных агрегатов.

В связи с ростом во всем мире объема применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях гражданских самолетов, в том числе и в отечественном самолетостроении, актуальной становится проблема анализа эффективности применения ПКМ на всех этапах жизненного цикла композитных конструкций.

В соответствии с ДСТУ ISO 9000–2001 [1] эффективность – это соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Если достигнутым результатом считать степень совокупных собственных отличительных свойств, удовлетворяющих требованиям (ожиданиям), то

эффективностью является соотношение между суммой относительных показателей качества объекта и использованными ресурсами.

Но использованные ресурсы – это совокупные затраты на достижение качества объекта или относительный показатель суммарных затрат на получение положительного эффекта как суммы показателей качества за вычетом из нее относительного показателя суммарных затрат.

Таким образом, приходим к относительному интегральному критерию эффективности объекта в форме Томашевича [2] как отношению суммы относительных показателей качества за вычетом суммарного относительного показателя затрат, отнесенным к этому показателю затрат.

Этот критерий можно интерпретировать как новую смысловую форму критерия Томашевича, принципиально отличную от аналогичных критериев, приведенных в работах, где суммарные затраты не вычленены из показателей эффективности числителя.

По определению [1] качество – это степень соответствия, до которой совокупность собственных отличительных свойств удовлетворяет сформулированным общепонятным или обязательным требованиям или ожиданиям.

Иными словами, качество – способность продукции удовлетворять предъявляемым требованиям.

Уровень качества продукции определяется ее показателями качества (ПК), суммарное значение которых для каждого конкретного ее вида свидетельствует об эффективности этой продукции.

Известно [3], что показатели качества любой продукции, в том числе и композитных конструкций гражданских самолетов, являются метрологическими характеристиками [4].

В связи с этим особую актуальность, теоретическую и практическую значимость обретает квалиметрия.

Квалиметрия возникла и интенсивно развивается как наука об измерении и оценке качества любых объектов и процессов в сочетании с проблемой управления качеством продукции и работ в общественном производстве [3–7].

Квалиметрия как наука начала развиваться в период зрелости другой науки – метрологии – науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности [8].

Для анализа соотношения этих наук необходимо рассмотреть предмет и объект каждой из них.

Предметом метрологии является исследование количественных методов и средств измерения и оценивания точности этих измерений [8]. Под точностью в метрологии понимается обеспечение соответствия поля рассеивания значений измеряемой величины заданному полю допуска.

Объектом метрологии является измерение количественных величин с заданной точностью [8].

Предметом квалиметрии является исследование количественных и неколичественных методов измерения и оценивания качества с требуемой точностью. Под точностью в квалиметрии понимается свойство процесса производства обеспечивать соответствие поля рассеивания значений показателя качества (измеряемого или вычисляемого косвенно посредством предварительных измерений) изготавливаемой продукции заданному полю допуска [6, 7].

Объект квалиметрии – измерение качества как совокупности свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с ее назначением.

Конечная цель в метрологии – измерение с заданной точностью, тогда как в квалиметрии измерение является промежуточной целью последующей оценки качества объекта (продукции) как совокупности его свойств, обусловливающих пригодность удовлетворять регламентированным потребностям в соответствии с его назначением.

Таким образом, в квалиметрии используются методы и средства измерений метрологии для оценивания (как процесса) и оценки (как результата) качества продукции.

Анализируя предметы и объекты метрологии и квалиметрии, можно сделать вывод о том, что, несмотря на более позднее оформление квалиметрии как науки, именно метрология может рассматриваться как научное направление в квалиметрии.

Таким образом, соподчиненность метрологии квалиметрии состоит в том, что метрология исследует только количественные методы измерения объектов и процессов, в то время как в квалиметрии рассматриваются и качественные методы.

Количественные характеристики свойств продукции называют показателями ее качества. В ГОСТ 22851–77 установлена номенклатура основных показателей качества по характеризующим ими свойствам продукции [3].

Несмотря на то, что номенклатура показателей качества продукции утверждена ГОСТом, имеют место явные противоречия в выделении в качестве самостоятельной данной группы показателей, традиционно входящей в группу показателей технологичности.

В зарубежных источниках появляются рекомендации по расширению номенклатуры показателей качества [9, 10]. Так, в [9] предлагается оценивать качество продукции и по показателям математического обеспечения ЭВМ на трех стадиях существования программных продуктов: при их разработке (5 показателей); модернизации (аккомодации к проектированию данного типа продукции – 3 показателя); перемещении из одной сферы применения в другую (3 показателя). На стадию модернизации приходится 70–80 % расходов на материальное обеспечение [3].

Эти идеи косвенно проявляются и в отечественной научной информации. Они представляются вполне обоснованными и требующими реализации в такой наукоемкой продукции, как авиастроение [11, 12].

На все виды изделий установлена номенклатура единичных показателей качества, которая включает в себя такие показатели [3]:

- назначения;
- надежности;
- экономного использования сырья, материалов, ресурсов;
- эргономические;
- эстетические;
- технологичности;
- транспортабельности;
- стандартизации и унификации;
- патентно-правовые;
- экологические;

- безопасности.

Показатели назначения предназначены для оценки полезного эффекта, который может быть получен при использовании изделия по назначению.

Группа показателей назначения делится на подгруппы:

- показатели функциональной и технической эффективности;
- конструктивные показатели.

Очевидно, что все виды номенклатуры ПК, кроме экономного использования сырья, а точнее – экономических затрат на создание того или иного вида продукции, являются видами, определяющими различные аспекты уровней достигнутого результата. Сумма этих видов в относительных (безразмерных) значениях, будучи отнесенной к ПК экономических затрат на создание конкретного вида продукции, также в безразмерной форме, и является критерием эффективности создания этой продукции [4, 13–14]:

$$\overline{K}_j^{\text{эф}} = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_{ij} \overline{K}_{ij}}{\overline{K}_{\text{экон}j}} \quad (1)$$

где  $\overline{K}_j^{\text{эф}}$  – относительный критерий эффективности  $j$ -го этапа создания продукции рассматриваемого вида;  $\overline{K}_{ij}$  –  $i$ -й ПК  $j$ -го этапа создания продукции;  $\xi_{ij}$  – коэффициент значимости  $i$ -го ПК  $j$ -го этапа, определяемый лицом, принимающим решение (ЛПР);  $\overline{K}_{\text{экон}j}$  – относительный ПК экономических затрат при создании  $j$ -го этапа продукции.

Все ПК отнесены к соответствующим базовым, назначаемым ЛПР.

Виды ПК любой продукции и этапов ее создания соответствуют принятому классификатору [4, 13].

Однако содержание ПК каждого вида различно и определяется как этапом создания продукции, так и ее конкретным видом.

Ниже исследуется конкретный вид продукции – конструкции воздушных судов (ВС) из ПКМ.

Этапы создания ВС предопределяются жизненным циклом ВС: проектирование, производство, испытания, эксплуатация и утилизация [4, 12–13].

Вычисляя значения ПК для каждого этапа создания конкретной конструкции ВС из ПКМ, можно оценить эффективность каждого из этих этапов в сравнении с аналогичным предшествующим вариантом продукции.

Составляющие ПК каждого этапа создания конструкции ВС из ПКМ определяются либо измерительными методами метрологии, либо, когда эти составляющие имеют качественный характер, не поддающийся количественному измерению, – экспертным методом.

Для этой оценки эксперт (или экспертная группа) должен располагать объективной информацией для сопоставления выбираемого (оцениваемого) ПК с некоторым базовым или эталоном.

Таким инструментом для оценивания представляется рациональным (если не единственно возможным) принять одну из разновидностей генеральной определительной таблицы (ГОТ), содержащей пять или три уровня диапазонов (рангов) совершенства данного типа продукции [13, 14].

В качестве такого варианта ГОТ может быть принята пятиуровневая (см. табл. 1).

Таблица 1

Вариант пятиуровневой ГОТ экспертизы оценивания ПК  
конструкции ВС из ПКМ

Уро- вень	Отличительное содержание уровня	Балл	Относитель- ный балл	Диапазон
1	Лучший достигнутый мировой аналог ПК продукции данного типа	5	1	1...0,79
2	Ординарный аналог ПК данного типа продукции в мире	4	0,8	0,8...0,59
3	Лучший достигнутый отечественный аналог ПК продукции данного типа	3	0,6	0,6...0,49
4	Ординарный отечественный ПК продукции данного типа	2	0,4	0,4...0,29
5	Худший отечественный уровень ПК данной продукции	1	0,2	0,2...0

Знаменатель критерия эффективности, (1) представляющий собой относительный показатель качества экономических затрат для каждого этапа жизненного цикла композитной конструкции, по-видимому, должен определяться по ГОТ, которая аналогична по структуре той, что представлена в таблице 1, однако пронормирована по баллам в обратном порядке, так как более высокому достигнутому уровню совершенства продукции должны соответствовать меньшие затраты ресурсов на ее создание.

С учетом этого ГОТ варианта пятиуровневой экспертной оценки затрат ресурсов должна иметь вид, показанный в табл. 2.

Таблица 2

Вариант пятиуровневой ГОТ экспертного оценивания ПК затрат ресурсов на  
создание конструкций ВС из ПКМ

Уро- вень	Отличительное содержание уровня	Балл	Относитель- ный балл	Диапазон
1	Лучший достигнутый мировой аналог ПК затрат ресурсов	1	0,2	0,2...0,1
2	Ординарный мировой аналог ПК затрат ресурсов	2	0,4	0,4...0,29
3	Лучший достигнутый отечественный аналог затрат ресурсов	3	0,6	0,6...0,49
4	Ординарный отечественный ПК затрат ресурсов	4	0,8	0,8...0,69
5	Худший отечественный уровень ПК затрат ресурсов	5	1	1... 0,79

Коэффициенты значимости разных видов ПК этапов жизненного цикла конструкции, оцениваемые экспертным путем, удобно назначать, опираясь на вариант ГОТ, который показан в табл. 3.

Таблица 3

Генеральная определительная таблица уровней значимости ПК  
и их составляющих

№ поз.	Наименование уровня реализации фактора значимости	Оценка	
		Базисные баллы	Баллы, скорректированные по весам
1	Значимость ПК практически отсутствует	0,2	0,2...0,39
2	Низкий уровень значимости ПК	0,4	0,4...0,59
3	Средний уровень значимости ПК	0,6	0,6...0,79
4	Высокий уровень значимости ПК	0,8	0,8...0,99
5	Практически полная значимость ПК	1	1

Точность реализации приближенного метода экспертных оценок для эффективности применения композитных конструкций в агрегатах гражданских ВС на основных этапах их жизненного цикла существенно зависит от ряда факторов:

- компетентности эксперта;
- объема имеющейся у экспертов достоверной информации по каждому типу оцениваемой продукции соответствующего этапа или подэтапа ее жизненного цикла;
- временного регламента оценивания;
- оперативности предоставляемой экспертом информации от соответствующих подразделений организации, проектирующей, производящей, испытывающей и эксплуатирующей эту продукцию;
- степени ответственности этих подразделений за корректность и достоверность поставляемой ими информации экспертной группе.

По-видимому, имеют место и другие факторы. Однако эти недостатки неизбежны и при реализации других способов, выбираемых для оценки эффективности применения композитных конструкций.

Следует отметить и достаточно большую общность формулируемых в пятиуровневой ГОТ уровней оценивания, вызывающую неизбежную потерю точности соответствующих оценок.

Существенную неопределенность содержат и коэффициенты значимости тех или иных показателей качества каждого этапа жизненного цикла, а также особенности их учета при интегрировании прогнозируемых уровней этапа.

Очевидно, что нулевой коэффициент значимости показателя качества этапа требует исключения этого показателя из суммы этих показателей, на которую делится осредненный показатель этапа. В противном случае это привело бы к неоправданному (некорректному) занижению этого интегрального результата.

С другой стороны, и учет откорректированного отличного от нулевого значения ПК отражается на количестве суммарного значения ПК, по которому производится осреднение ПК этапа. Однако этот факт не учитывается при оценивании данного этапа.

Оставляет вопросы и необходимость или ее отсутствие учета значимости того или иного ПК при интегральном оценивании эффективности применения ПКМ в целом по всем основным этапам жизненного цикла изделия из ПКМ.

По-видимому, этот факт, как и ряд отмеченных выше, требует дополнительного анализа в процессе реализации данного приближенного метода.

Следующим шагом реализации метода является конкретизация показателей качества этапов, проведенная нами в [13, 14].

Ниже, без повторения этой конкретизации, представлена пятиуровневая ГОТ для подэтапа состава ПКМ для гипотетического типа композитной конструкции, анализируемой на всех этапах жизненного цикла (см. табл. 4).

Таблица 4

ГОТ этапа состава ПКМ

№ ПК	Наименование ПК этапа состава ПКМ	Относительный балл ПК	Коэффициент значимости	Откорректированный относительный балл
1	ПК назначения	0,75	1	0,75
2	Интегральный ПК надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости)	0,7	0,97	0,674
3	ПК эргономичности	отсутствует	0	0
4	ПК эстетичности	отсутствует	0	0
5	ПК технологичности (интегральный)	0,7	0,95	0,713
6	ПК транспортабельности	0,75	0,95	0,713
7	ПК стандартизации и унификации	0,75	0,95	0,713
8	ПК патентно-правовой	0,6	0,9	0,54
9	ПК экологичности и безопасности	0,8	1	0,8
10	Сумма значимых ПК	-	-	4,893
11	Относительное значение осредненного ПК этапа, отнесенное к числу значимых ПК	-	-	0,544

Относительные значения осредненных ПК всех этапов жизненного цикла композитной конструкции приведены в табл. 5.

Относительное значение критерия эффективности применения ПКМ на этапах жизненного цикла композитных конструкций представлено в табл. 6.

Относительное (безразмерное) выражение критерия эффективности применения композитных конструкций на том или ином этапе жизненного цикла в ряде случаев оказывается недостаточным для анализа планируемых затрат на расширение выпуска самолетов и их модификаций по различным проектам.

В этих случаях необходимо, по-видимому, ввести денежный эквивалент относительного значения критерия на основе предшествующих затрат при создании аналогичных композитных агрегатов на данном предприятии.

Таблица 5

Относительные осредненные значения ПК всех этапов  
жизненного цикла композитной конструкции

№ этапа	Наименование этапов жизненного цикла	Осредненные относительные ПК этапа
1	Этап состава ПКМ	0,544
2	Этап полуфабриката ПКМ	0,672
3	Этап выбора КСС конструкции	0,593
4	Этап выбора КТР деталей узлов, соединений	0,698
5	Этап сборки конструкции	0,605
6	Этап технологической подготовки производства	0,768
7	Этап производства	0,495
8	Этап испытаний конструкции	0,588
9	Этап эксплуатации	0,672

Таблица 6

Относительное значение критерия эффективности применения ПКМ  
на основных этапах жизненного цикла композитных конструкций

№ этапа	Наименование этапов жизненного цикла	Критерий эффективности
1	Этап состава ПКМ	0,544
2	Этап полуфабриката ПКМ	0,820
3	Этап выбора КСС конструкции	1,005
4	Этап выбора КТР деталей узлов, соединений	1,04
5	Этап сборки конструкции	1,42
6	Этап технологической подготовки производства	2,4
7	Этап производства	2,538
8	Этап испытаний конструкции	1,868
9	Этап эксплуатации	2,368

По-видимому, определение такого эквивалента является непростой задачей и потребует дополнительного анализа с реализацией метрологических (квалиметрических) методов и средств обеспечения приемлемой точности.



Кроме того, представляется, что значения таких эквивалентов для этапов проектирования и производства будут отличными от приемлемых для этапа эксплуатации самолетов вследствие специфических особенностей этого этапа, predetermined конкретными условиями работы.

### Выводы

1. Предложен и реализован приближенный метод прогнозирования для эффективного объема конструкций агрегатов самолета из ПКМ, основанный на экспертных оценках суммы относительных показателей качества на каждом этапе жизненного цикла объектов рассматриваемого класса, отнесенный к суммарным относительным расходам материальных, трудовых и финансовых ресурсов, затраченных на создание, испытание и эксплуатацию агрегатов из ПКМ.

2. Метод реализован с помощью предложенных генеральных определительных таблиц, оценивающих каждый показатель качества квалиметрическими (качественными) показателями, последовательно на всех этапах жизненного цикла композитных агрегатов.

3. Переход от безразмерных (относительных) значений критерия эффективности к денежному выражению предлагается реализовать путем введения соответствующего эквивалента, определяемого метрологическими (квалиметрическими) методами и средствами анализа конкретного производства и эксплуатации самолета с агрегатами из ПКМ.

### Список литературы

1. ДСТУ ISO 9000–2001. Системи управління якістю. Вимоги. – На заміну ДСТУ ISO 9001 -95; чинний з 2001-06-27. – Київ : Держстандарт України, 2001. – 33 с.

2. Томашевич, Д. Л. Конструкции и экономика самолета / Д. Л. Томашевич. – М. : Оборонгиз, 1960. – 202 с.

3. Качество и сертификация промышленной продукции : учеб. пособие / А. Г. Гребеников [и др.]. – Харьков : ХАИ, 1988. – 396 с.

4. Журибеда, М. Н. Виды метрологических характеристик и состава работ по их определению на основных стадиях существования композитных конструкций агрегатов воздушных судов транспортной категории / М. Н. Журибеда // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – Харьков, 2021. – Вып. 93. – С. 146–157. doi: 10.32620/oikit.2021.93.09

5. Адрианов, Ю. М. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении / Ю. М. Адрианов, А. И. Суббето. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1990. – 216 с.

6. Азгальцев, Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) / Г. Г. Азгальцев. – М. : Экономика, 1982. – 256 с.

7. Бурдаков, В. Д. Квалиметрия транспортных средств / В. Д. Бурдаков. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 160 с.

8. Димов, Ю. В. Метрология, стандартизация, сертификация : учебник для вузов / Ю. В. Димов. – СПб. : Питер, 2010. – 404 с.

9. Walter, G. F. Software quality metrics for lift-cycle cost Reduction / G. F. Walter, J. A. Mc. Gall // IEEE Trans., 1979. R-28. № 3. – P. 212–220.

10. Juran, J. M. Quality control of service / J. M. Juran // The 1974 Japanese symposium. Qual. Progr., 1975. – V. 8, № 4. – P. 10–13.
11. Король, В. Н. Факторы эффективности при производстве авиационной техники / В. Н. Король // Технологические системы. – 1999. – № 1. – С. 31–36.
12. Король, В. Н. Эффективность авиационной техники и пути ее повышения в современных условиях / В. Н. Король // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – Харьков, 1999. – Вып. 3 (16). – С. 6–14.
13. Концептуальный подход к метрологическому обеспечению создания композитных конструкций гражданских самолетов / Wang Bo и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – Харьков, 2020. – Вып. 90. – С. 56–64. doi: 10.32620/oikit.2020.90.07.
14. Классификационный аспект метрологического обеспечения авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов / Wang Bo и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – Харьков, 2020. – Вып. 90. – С. 65–77. doi: 10.32620/oikit.2020.90.05

## References

1. DSTU ISO 9000-2001. *Sy`stemy` upravlinnya yakistyu. Vy`mogy`*. [Quality management systems. Requirements]. – Na zaminu DSTU ISO 9001 -95; chy`nny`j z 2001-06-27. – Ky`yiv : Derzhstandart Ukrayiny`, Publ. 2001. – 33 p.
2. Tomashevich D. L. *Konstrukcii i jekonomika samoleta* [Aircraft structures and economics]. – M.: Oborongiz, Publ. 1960. – 202 p.
3. Grebenikov A. G. [i dr.]. *Kachestvo i sertifikacija promyshlennoj produkcii* [Quality and certification of industrial products: studies]: ucheb. posobie. – Kharkov: KhAI, Publ. 1988. – 396 p.
4. Zhuribeda M. N. *Vidy metrologicheskikh harakteristik i sostava rabot po ih opredeleniju na osnovnyh stadijah sushhestvovanija kompozitnyh konstrukcij agregatov vozdushnyh sudov transportnoj kategorii* [Types of metrological characteristics and scope of work for their determination at the main stages of the existence of composite structures of aircraft aggregates of the transport category]. *Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirovannye tehnologii : sb. nauch. tr. Nac. azerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «Har'k. aviac. in-t»*. – Har'kov, Publ. 2021. – Vyp. 93. – pp. 146–157. doi: 10.32620/oikit.2021.93.09
5. Adrianov Ju. M., Subbeto A. I. *Kvalimetrija v priborostroenii i mashinostroenii* [Qualimetry in instrument making and mechanical engineering]. – L.: Mashinostroenie. Leningrad. otdelenie, Publ. 1990. – 216 p.
6. Azgal'cev G. G. *Teorija i praktika ocenki kachestva tovarov (osnovy kvalimetrii)* [Theory and practice of assessing the quality of goods (basics of qualimetry)]. – M.: Jekonomika, Publ. 1982. – 256 p.
7. Burdakov V. D. *Kvalimetrija transportnih sredstv* [Qualimetry of vehicles]. – M.: Izd-vo standartov, Publ. 1990. – 160 s.
8. Dimov Ju. V. *Metrologija, standartizacija, sertifikacija : uchebnik dlja vuzov* [Metrology, Standardization, Certification: Textbook for universities]. – Sankt-Peterburg: Piter, Publ. 2010. – 404 p.

9. Walter G. F., Mc. Gall J. A. *Software quality metrics for life-cycle cost Reduction. IEEE Trans.*, Publ. 1979. R-28. №3. – pp. 212–220.
10. Juran J. M. *Quality control of service*. The 1974 Japanese symposium. Qual. Progr., Publ. 1975. – V.8, №4. – pp. 10–13.
11. Korol' V. N. *Faktory jeffektivnosti pri proizvodstve aviacionnoj tehniki* [Efficiency factors in the production of aircraft]. Tehnologicheskie sistemy. – Publ. 1999. №1. – pp. 31–36.
12. Korol' V. N. *Jeffektivnost' aviacionnoj tehniki i puti ee povyshenija v sovremennyh uslovijah* [The effectiveness of aviation technology and ways to improve it in modern conditions]. Voprosy proektirovanija i proizvodstva konstrukcij letatel'nyh apparatov: sb. nauch. tr. Nac. ajerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «Har'kov. aviac. in-t». – Har'kov, Publ. 1999. – Vyp. 3 (16). – pp. 6–14.
13. Wang Bo, Bychkov S. A., Gajdachuk A. V., Andreev A. V., Zhuribeda, M. N. *Konceptual'nyj podhod k metrologicheskomu obespečeniju sozdanija kompozitnyh konstrukcij grazhdanskih samoletov* [A conceptual approach to metrological support for the creation of composite structures for civil aircraft]. Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirovannye tehnologii: sb. nauch. trudov Nac. ajerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «Har'k. aviac. in-t». Kharkov: KhAI, Publ. 2020, no. 90. pp. 56 – 64. doi: 10.32620/oikit.2020.90.07.
14. Wang Bo, Bychkov S. A., Gajdachuk A. V., Andreev A. V., Zhuribeda, M. N. *Klassifikacionnyj aspekt metrologicheskogo obespečenija aviacionnyh konstrukcij iz polimernyh kompozicionnyh materialov* [Classification aspect of metrological support of aircraft structures made of polymer composite materials]. Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirovannye tehnologii : sb. nauch. tr. Nac. ajerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «Har'k. aviac. in-t». – Har'kov, Publ. 2020. – Vyp. 90. – pp. 65-77. doi: 10.32620/oikit.2020.90.05

Надійшла до редакції 07.12.2021, розглянута на редколегії 09.12.2021.

## **Наближений метод експертних оцінок ефективності застосування полімерних композиційних матеріалів у конструкціях цивільних літаків на основних етапах життєвого циклу**

У зв'язку із зростанням застосування полімерних композиційних матеріалів у всьому світі та у вітчизняному літакобудуванні в цивільних літаках транспортної категорії актуальною проблемою стає аналіз прогнозування методів їх застосування на основних етапах життєвого циклу існування цього класу конструкцій.

Ефективність як співвідношення між досягнутим результатом і витраченими на його досягнення ресурсами може бути інтерпретована як співвідношення між сумарними показниками якості об'єкта, що створюється, і сумарними витратами.

Однак показники якості є такими метрологічними характеристиками, кількісне вимірювання яких у більшості випадків є утрудненим або практично неможливим. У зв'язку з цим кваліметричні показники якості набувають кваліметричної форми якісних характеристик. Кваліметричні характеристики дають змогу оперувати при їх аналізі продуктивним методом експертних оцінок критеріїв ефективності реалізації будь-якого об'єкта, у тому числі композитних

конструкцій агрегатів літака. Як критерій прогнозування ефективного обсягу застосування композитних конструкцій запропоновано аналог критерію Томашевича як відносної суми показників якості композитних агрегатів певного класу, віднесеної до показника сумарних витрат ресурсів на забезпечення показника чисельника по всіх етапах життєвого циклу композитних конструкцій з урахуванням коефіцієнтів якості на стадіях їх життєвого циклу. Числові значення кожного рівня етапів життєвого циклу оцінюються експертом за запропонованими п'ятирівневими генеральними визначальними таблицями з подальшим підсумовуванням показників критерію по етапах життєвого циклу, даючи змогу визначити як ефективність використання композитів на окремих етапах, так і її інтегральне значення по всіх основних етапах. Відносне значення критерію ефективності може бути подане в грошовому вираженні множенням його на еквівалент, установлений на основі метрологічних (кваліметричних) методів і засобів оцінювання результатів конкретного виробництва.

**Ключові слова:** цивільні повітряні судна, композиційні полімерні матеріали, метрологічне забезпечення авіаційних конструкцій, критерій ефективності, кваліметричні показники, показники якості авіаційних агрегатів.

### **An approximate method of expert assessments of the effectiveness of the use of polymer composite materials in the structures of civil aircraft at the main stages of the life cycle**

In connection with the growing use of polymer composite materials all over the world and in domestic aircraft construction in civil aircraft of the transport category, the analysis of forecasting methods of their application at the main stages of the life cycle of this class of structures becomes an urgent problem.

Efficiency, as the ratio between the achieved result and the resources spent on its achievement, can be interpreted as the ratio between the total quality indicators of the created object and the total costs.

However, quality indicators are such metrological characteristics, the quantitative measurement of which in most cases is difficult or almost impossible. In this regard, the qualimetric quality indicators acquire the qualimetric form of qualitative characteristics. Qualimetric characteristics make it possible to operate during their analysis by a productive method of expert assessments of criteria for the implementation of any object, including composite structures of aircraft aggregates. As a criterion for predicting the effective volume of use of composite structures, an analogue of D.L. quality at the stages of their life cycle. The numerical values of each level of the stages of the life cycle are assessed by an expert according to the proposed five-level general identification tables with the subsequent summation of the criterion indicators by stages of the life cycle, making it possible to determine both the efficiency of using composites at individual stages and its integral value for all main stages. The relative value of the efficiency criterion can be represented in monetary terms by multiplying it by an equivalent established on the basis of metrological (qualimetric) methods and means of assessing the results of a particular production.

**Keywords:** civil aircraft, polymer composite materials, metrological support of aircraft structures, efficiency criterion, qualimetric indicators, quality indicators of aircraft units.

**Сведения об авторах:**

**Сергей Андреевич Бычков** – генеральный директор ГП «АНТОНОВ»

**Журибеда Мария Николаевна** – главный метролог ГП «АНТОНОВ», аспирант кафедры конструкций и проектирования ракетно-космической техники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина. e-mail: [arbalet98@ukr.net](mailto:arbalet98@ukr.net)

**About the Authors:**

**Sergey Bychkov** – General Director of the ANTONOV State Enterprise

**Mariya Zhuribeda** – Chief Metrologist of the ANTONOV SE, postgraduate student of the Department of Structures and Design of Rocket and Space Technology of the National Aerospace University named after N.E. Zhukovsky "Kharkov Aviation Institute", Ukraine. e-mail: [arbalet98@ukr.net](mailto:arbalet98@ukr.net)