

Инженерная методика реализации квалиметрии в системе метрологического обеспечения этапов проектирования авиаконструкций из полимерных композиционных материалов

*Национальный университет «Запорожская политехника»
Государственное предприятие «АНТОНОВ», Украина

В связи с перманентным ростом во всем мире, в том числе и в отечественном самолетостроении, объемов применения полимерных композиционных материалов в конструкциях гражданских самолетов, актуальной становится проблема анализа эффективности применения композитов на всех этапах жизненного цикла соответствующих конструкций. Предложена и обоснована инженерная методика реализации квалиметрии в системе метрологического обеспечения основных этапов проектирования конструкций из полимерных композиционных материалов в гражданских воздушных судах транспортной категории, основанная на использовании интегральных показателей качества и экспертной оценке характеристик основных стадий проектирования. Разработаны генеральные определительные таблицы синтеза уровней значимости основных этапов проектирования композитных конструкций для экспертной оценки эффективности операций. Установлены главные (определяющие) принципы интегральных показателей качества составляющих уровней проектирования. Опора экспертов на главные признаки показателей качества этапов проектирования обеспечивает минимизацию погрешностей при установлении рангов значимости этих этапов. Проведена декомпозиция классификатора вида «Проектирование авиаконструкций из полимерных композиционных материалов», систематизирующая анализ и синтез основных шагов реализации предлагаемой инженерной методики квалиметрического обеспечения проектирования авиаконструкций из полимерных композиционных материалов, последовательность и реализацию экспертной группой. Реализован критерий эффективности инженерной методики квалиметрического обеспечения реализации этапов проектирования в форме аддитивной модели отношения эффекта от каждого этапа проектирования, выраженного суммой показателей качества к суммарным затратам средств на его обеспечение с учетом коэффициента значимости показателей. Приведен гипотетический пример реализации предложенной инженерной методики анализа результативности на начальных стадиях ее освоения на предприятии, прогнозирующем перспективный рост объемов применения композитов в отечественных воздушных судах транспортной категории и их модификациях. Предложенная инженерная методика реализации квалиметрии в системе метрологического обеспечения этапов проектирования композитных конструкций отечественных самолетов после практического апробирования и доработки в условиях конкретного производства может стать эффективным средством повышения результативности прогнозирования роста объемов применения полимерных композиционных материалов в отечественном самолетостроении.

Ключевые слова: гражданские воздушные суда, полимерные композиционные материалы, метрологическое обеспечение авиационных конструкций, критерий эффективности, квалиметрические показатели, инженерные методы проектирования, экспертные оценки, генеральные определительные таблицы.

Как отмечалось в нашей работе [1], в связи с перманентным ростом во всем мире, в том числе и в отечественном самолетостроении, объема

применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях гражданских самолетов, актуальной становится проблема анализа эффективности применения ПКМ на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) композитных конструкций.

В настоящей работе проведен анализ классификационного аспекта метрологического обеспечения авиационных конструкций из ПКМ и предложен классификатор этапов ЖЦ существования воздушных судов транспортной категории (ВС ТК) из ПКМ, проведена его декомпозиция, включающая состав видов, классов, подклассов, групп и подгрупп и выполнен их анализ.

В работе [2] предложен и реализован приближенный метод прогнозирования эффективного объема композитных агрегатов самолета из ПКМ, основанный на экспертных оценках суммы относительных показателей качества каждого этапа ЖЦ объектов рассматриваемого класса, отнесенный к суммарным относительным расходам материальных, трудовых и финансовых ресурсов, затраченных на создание, испытание и эксплуатацию агрегатов из ПКМ.

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

Ниже сделана попытка усовершенствования этого метода квалиметрии в системе метрологического обеспечения этапов проектирования конструкций из ПКМ.

Совершенствование этого метода будем реализовывать в рамках общего алгоритма определения и анализа эффективности применения ПКМ в конструкциях отечественных ВС ТК. Как показано в [3], этот алгоритм включает в себя следующие основные шаги:

1. Определение цели операции и ожидаемого эффекта, то есть прогнозирование эффективного объема конструкций агрегатов ВС ТК из ПКМ.

2. Формирование дополнительных условий и требований к обеспечению реализуемого алгоритма.

3. Формализация целей операций алгоритма.

4. Выбор системы показателей, характеризующих эффективность операций и функционирования исследуемых объектов. В качестве таких показателей в работах [1-2] выбраны показатели качества этапов ЖЦ существования авиаконструкций из ПКМ.

5. Построение моделей операций для исследования эффективности. В качестве таких моделей в [2] предложены ГОТ экспертного оценивания ПК этапов ЖЦ существования агрегатов авиаконструкций из ПКМ.

- 6-8. Этапы, связанные с оцениванием эффективного объема применения ПКМ в отечественных ВС ТК.

К числу дополнительных требований и условий к обеспечению реализации алгоритма необходимо отнести следующие.

Метод реализуется на конкретном предприятии – ГП «АНТОНОВ», на протяжении более чем полувека создающем гражданские самолеты с широким применением ПКМ [4-6].

Эта реализация осуществляется в системе нового подразделения главного метролога, отражая существенное расширение его функций специалистами, решающими задачи метрологического обеспечения создания

конструкций из ПКМ, а не проектирования, производства, испытаний и эксплуатации этих объектов.

Отметим два принципиально важных положения: первое – эти специалисты не подменяют собой конструкторов, технологов и специалистов по эксплуатации этих конструкций, а, пользуясь их знаниями и опытом, но не отбирая их функциональные задачи, с их помощью формируют и реализуют метод создания новых конструкций из ПКМ; второе – метод базируется на метрологическом обеспечении этих конструкций всех этапах ЖЦ их существования и опирается на экспертную оценку [7] эффективности этих объектов посредством ГОТ ПК этапов и известные способы (критерии) моделирования и информационные базы предприятия.

Конечный результат реализации метода утверждается Генеральным директором предприятия, ориентируясь на потенциальные возможности использования производственных кадров, финансовых и временных ресурсов. Содержание других этапов алгоритма будет, при необходимости, впоследствии уточнено.

Ниже приведено краткое изложение метода. На рис. 1 приведена декомпозиция классификатора вида «Проектирование авиаконструкций из ПКМ». Уровень классов данного вида включает в себя пять составляющих уровней: проектирования состава ПКМ; проектирования полуфабрикатов ПКМ; выбора конструктивно-силовой схемы (КСС); выбора конструктивно-технологических решений (КТР); выбора КТР сборки конструктивных элементов из ПКМ.

Как показано в [2], все составляющие класса данного вида анализируются посредством их ПК.

Ниже приведен краткий анализ всех уровней декомпозиции рис. 1.

Представляется необходимым дать определения некоторым понятиям декомпозиции. Так, уровнями проектирования классов декомпозиции будем называть степень соответствия главному (определяющему) признаку этапа проектирования. В соответствии с этим главным признаком этапа состава ПКМ и полуфабриката ПКМ представляется доступность реализации этих этапов: степень или ранг доступности ПК этих этапов носят квалитетический, то есть качественный, характер и могут выражаться в баллах соответствующих ГОТ (см. ниже). Главный признак уровня выбора КСС – его восприимчивость к эксплуатационным нагрузкам. ПК этого этапа также имеет квалитетический характер и определяется баллами соответствующих ГОТ. Главный признак этапа выбора КТР конструктивных элементов – их технологичность, выражаемая в баллах соответствующей ГОТ. Главный признак этапа выбора сборки конструкций из ПКМ – производительность, выражаемая в баллах ГОТ.

Уровнями проектирования подклассов декомпозиции будем называть интегральные ПК, выраженные в количественных (метрологических) показателях перечня [13].

Уровень проектирования состава ПКМ представляется целесообразным определять в соответствии с рангом ГОТ (таблица 1).

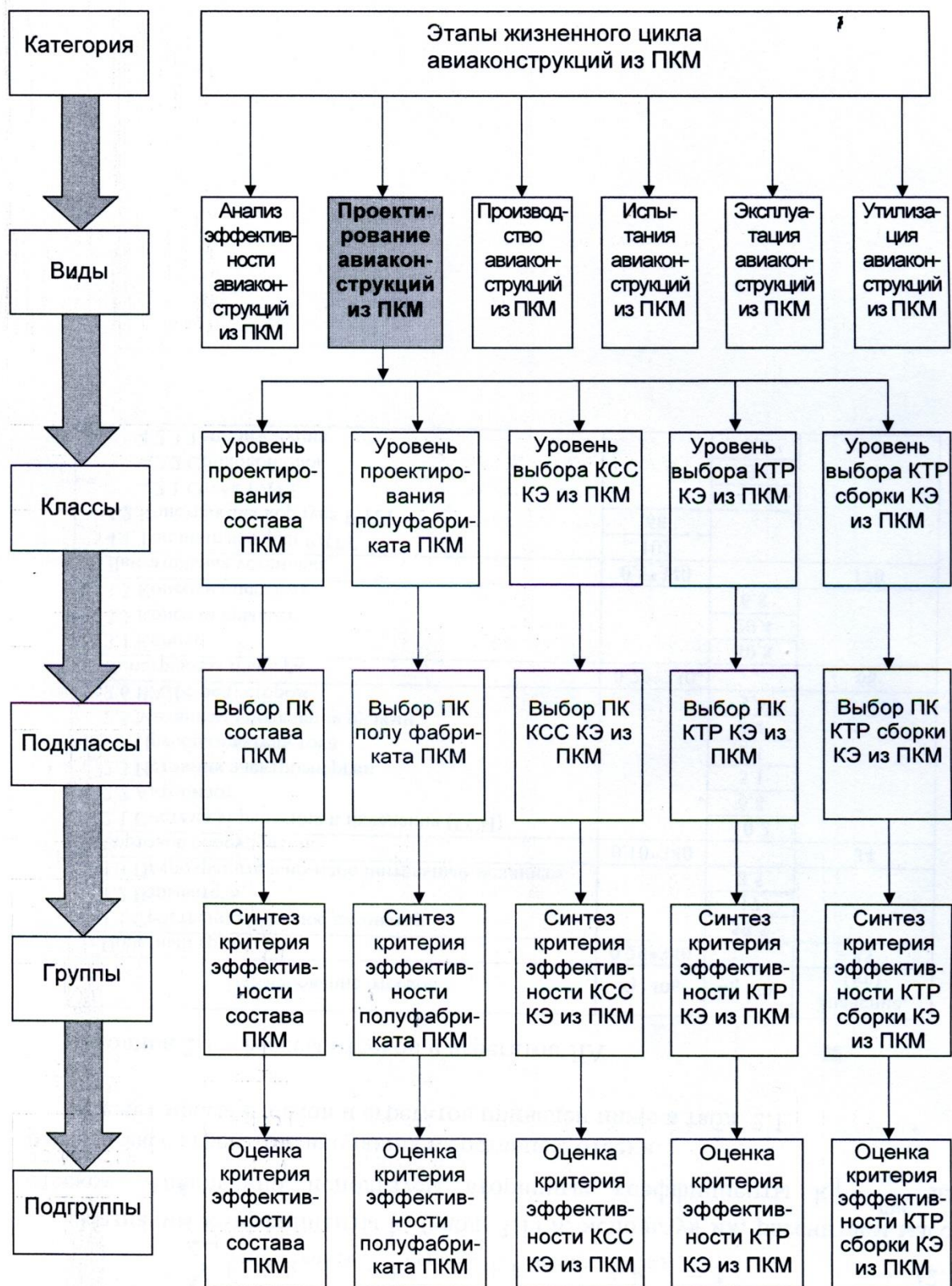


Рис. 1. Декомпозиция классификатора вида «Проектирование авиаконструкций из ПКМ»

Таблица 1

**Генеральная определительная таблица
для определения ранга уровня состава ПКМ**

Ранг	Характеристика ранга	Диапазон баллов
1	На уровне лучших мировых показателей	5 – 4,49
2	На уровне лучших отечественных показателей	4,5 – 2,99
3	На уровне средних мировых показателей	3,5 – 2,49
4	На уровне средних отечественных показателей	2,5 – 1,49
5	На уровне низких отечественных показателей	1,5 – 0

ПК уровня полуфабриката вида проектирования конструкций из ПКМ выбирается экспертной группой также по ГОТ аналогичной таблице 1.

ПК уровня выбора КСС вида проектирования конструкций из ПКМ определяются экспертной группой в соответствии с ГОТ (таблица 2).

Таблица 2

**Показатели качества уровня выбора КСС
вида проектирования конструкций из ПКМ**

Ранг	Характеристика ранга	Диапазон баллов
1	КСС, максимально учитывающая виды и характер силовых потоков	5 – 4
2	КСС, частично учитывающая виды и характер силовых потоков	4 – 3
3	КСС, практически не согласованная с видами и характером силовых потоков	3 – 2
4	КСС, противоречащая восприятию видов и характера силовых потоков	2 – 0

ПК уровня выбора КТР конструктивных элементов вида проектирования конструкций из ПКМ определяются экспертной группой с помощью ГОТ (таблица 3).

Таблица 3

**Генеральная определительная таблица выбора ПК КТР
конструктивных элементов**

Ранг	Характеристика ранга	Диапазон баллов
1	Высокотехнологичные конструктивные элементы, обеспечивающие снижение массы	5 – 4
2	Технологичные конструктивные элементы, ориентированные на снижение массы	4 – 3
3	Конструктивные элементы среднего уровня технологичности с проблемой на снижение массы	3 – 2
4	Нетехнологичные конструктивные элементы, практически бесперспективные к снижению массы	2 – 0

ПК уровня КТР сборки вида проектирования конструкций из ПКМ определяются экспертной группой по ГОТ (таблица 4).

Таблица 4

Показатели качества уровня КТР сборки вида проектирования конструкций из ПКМ

Ранг	Характеристика ранга	Диапазон баллов
1	Сборка, ориентированная на минимальное количество сборочных единиц и приспособлений	5 – 4
2	Сборка с ограниченным числом сборочных единиц и приспособлений	4 – 3
3	Многоэлементная конструкция, требующая большого количества сборочных приспособлений	3 – 2
4	Многоэлементная, преимущественно ручная сборка с доработкой и сложной сборочной оснасткой	2 – 0

Базы данных по ПКМ содержатся в ряде справочников и других источников информации [9-12].

Уровни групп декомпозиции рис. 1 определяются критериями эффективности суммы составляющих этапа, реализующих форму критерия, предложенного Д. Л. Томашевичем [13]:

$$\bar{K}_{\text{эф } ij} = \sum_{i=1}^n \frac{\overline{\text{ПК}}_{ij} \xi_{\text{ПК } ij}}{\overline{\text{ПК}}_{\text{затр } ij}} \quad (1)$$

$$\bar{K}_{\text{эф max}} = \max(\bar{K}_{\text{эф } ij}) \quad (2)$$

здесь $\overline{\text{ПК}}_{ij}$ – i -я компонента j -й составляющей проектирования авиаконструкции из ПКМ (состава, полуфабриката и т.д.);

$\xi_{\text{ПК } ij}$ – коэффициент значимости компоненты j -й составляющей проектирования, назначаемый лицом, принимающим решения (ЛПР);

$\overline{\text{ПК}}_{\text{затр } ij}$ – относительный ранг затрат, связанных с реализацией i -й компоненты j -й составляющей проектирования авиаконструкции из ПКМ, устанавливаемый (регламентированный) ЛПР (таблица 5).

Таблица 5

Ранги уровня затрат на реализацию критерия эффективности составляющих этапа групп ЖЦ существования авиаконструкций из ПКМ

Ранг	Характеристика ранга	Диапазон баллов
1	Статистически низкий уровень затрат на реализацию критерия эффективности	5 – 4
2	Статистически средний уровень затрат на реализацию критерия эффективности	4 – 3
3	Статистически высокий уровень затрат на реализацию критерия эффективности	3 – 2
4	Практически нереализуемый уровень затрат на реализацию критерия эффективности	2 – 0

Уровень декомпозиции подгрупп включает оценку критериев эффективности составляющих последнего этапа проектирования конструкций из ПКМ.

По-видимому, такая оценка предполагает использование методов сравнения полученного результата с установленным экспертным путем аналогом, уже реализованным ранее в отечественной или зарубежной практике. Точность такого оценивания зависит от ряда факторов, основные из которых проанализированы в нашей работе [2].

В заключение приведем гипотетический пример реализации методики квалиметрии в системе метрологического обеспечения этапов проектирования типовой конструкции из ПКМ без промежуточных вычислений результатов (таблица 6).

Таблица 6

Гипотетический пример реализации методики квалиметрии в системе метрологического обеспечения этапов проектирования типовой конструкции ВС из ПКМ

№ п/п	Наименование этапа проектирования	Интегральный ПК этапа	Интегральный ПК затрат на реализацию этапа	Критерий эффективности этапа
1	Этап состава ПКМ	4,2	1,55	2,135
2	Этап полуфабриката ПКМ	3,95	1,85	2,0
3	Этап выбора КСС конструкции	3,54	3,985	0,89
4	Этап выбора КТР деталей, узлов, соединений	4,1	3,05	1,17
5	Этап сборки конструкции	3,65	3,05	1,15

Анализ таблицы 6 позволяет сделать следующие выводы:

1. Наиболее эффективен этап выбора состава ПКМ, имеющий наибольшее значение критерия (1);
2. Наименее эффективен этап выбора КСС конструкции, в котором затраты на реализацию результата превышают эффект от реализации самого этапа, что позволяет ЛПР потребовать от экспертной группы повторного анализа этапа с целью повышения эффекта от реализации этапа или обеспечения снижения затрат на его реализацию.

Выводы

1. Предложена и обоснована инженерная методика реализации квалиметрии в системе метрологического обеспечения основных этапов проектирования конструкций из ПКМ в гражданских ВС ТК, основанная на использовании интегральных показателей качества и экспертной оценке характеристик основных стадий проектирования.

2. Разработаны ГОТ синтеза уровней значимости основных этапов проектирования композитных конструкций для экспертной оценки эффективности операций.

3. Установлены главные (определяющие) принципы интегральных показателей качества составляющих уровней проектирования: доступность, для этапов выбора состава ПКМ и его полуфабрикатов; восприимчивость к спектру эксплуатационных воздействий, для этапа выбора КСС; технологичность, для этапа выбора эффективных КТР деталей, узлов и соединений элементов

конструкций из ПКМ; производительность, для этапа сборки конструктивных элементов.

Опора экспертов на главные признаки ПК этапов проектирования обеспечивает минимизацию погрешностей при установлении рангов значимости этих этапов.

4. Проведена декомпозиция классификатора вида «Проектирование авиаконструкций из ПКМ», систематизирующая анализ и синтез основных шагов реализации предлагаемой инженерной методики квалиметрического обеспечения проектирования авиаконструкций из ПКМ, последовательность и реализацию экспертной группой.

5. Реализован критерий эффективности инженерной методики квалиметрического обеспечения реализации этапов проектирования в форме аддитивной модели отношения эффекта от каждого этапа проектирования, выраженного суммой показателей качества к суммарным затратам средств на его обеспечение с учетом коэффициента значимости показателей.

6. Приведен гипотетический пример реализации предложенной инженерной методики анализа результативности на начальных стадиях ее освоения на предприятии, прогнозирующем перспективный рост объемов применения ПКМ в отечественных ВС ТК и их модификациях.

7. Предложенная инженерная методика реализации квалиметрии в системе метрологического обеспечения этапов проектирования композитных конструкций отечественных ВС ТК после практического апробирования и доработки в условиях конкретного производства может стать эффективным средством повышения результативности прогнозирования роста объемов применения ПКМ в отечественном самолетостроении.

Список литературы

1. 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

2. Бычков, С. А. Приближенный метод экспертных оценок эффективности применения полимерных композиционных материалов в конструкциях гражданских самолетов на основных этапах жизненного цикла / С. А. Бычков, 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. 94. – С. 4–16. doi: 10.32620/oikit.2021.94.01

3. Меерович, Г. Ш. Анализ эффективности: принципы, критерии, опыт / Г. Ш. Меерович. – М.: Знание, 1979. – 64 с.

4. Балабуев, П. В. Опыт применения композиционных материалов в транспортной авиации / П. В. Балабуев // Авиационная промышленность. – 1986. – № 9. – С. 9–14.

5. Бычков, С. А. Решение проблемы создания авиаконструкций из полимерных композиционных материалов на АНТК «Антонов» / С. А. Бычков, В. Г. Бондарь, В. Н. Король // Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – № 5 (40). – С. 34–37.

6. Бычков, С. А., Состояние и проблемы применения новых конструкционных материалов в отечественных гражданских самолетах в современных условиях. Сообщение 2. Полимерные композиты в отечественных самолетах в современных условиях (1995 – 2015 гг.): Первопричины и закономерности внедрения / С. А. Бычков, А. А. Коцюба // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2016. – № 6 (133). – С. 4–14.

7. Бешелев, С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

8. Эддоус, М. Методы принятия решений / М. Эддоус, Р. Стэнсфилд ; пер. с англ. И. И. Елисеевой. – М.: Аудит, 1997. – 590 с.

9. Baker, A. Composite Materials for Airframe Structures / A. Baker, S. Dutton, D. Kelly. – Virginia: American Institute for Aeronautics and Astronautics Ins., Reston, – 2004. – 599 p.

10. Композиционные материалы. Справочник / под ред. Д. М. Карпиноса. – Киев: Наукова думка, 1985. – 592 с.

11. Композиционные материалы. Справочник / под общ. ред. В. В. Васильева и Ю. М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

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

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

14. Михайлин, Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. – СПб.: Научные основы и технологии, 2008. – 822 с.

References

1. Wang Bo, Bychkov S. A., Gajdachuk A.V., Andreev A. V., Zhuribeda M. N. Klassifikacionnyj aspekt metrologicheskogo obespechenija 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

2. Bychkov S. A., Zhuribeda M. N. Priblizhennyj metod jekspertnyh ocenok jeffektivnosti primeneniya polimernyh kompozicionnyh materialov v konstrukcijah grazhdanskih samoletov na osnovnyh jetapah zhiznennogo cikla [An Approximate Method for Expert Evaluation of the Efficiency of Using Polymer Composite Materials in Civil Aircraft Structures at the Main Stages of the Life Cycle]. *Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirovannye tehnologii : sb. nauch. tr. Nac. ajerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «Har'kov. aviac. in-t»*. – Har'kov, 2021. – Vyp. 94. – pp. 4–16. doi: 10.32620/oikit.2021.94.01

3. Meerovich G. Sh. Analiz jeffektivnosti: principy, kriterii, opyt [Performance analysis: principles, criteria, experience]. – М.: Znanie, 1979. – 64 p.

4. Balabuev P. V. Opyt primeneniya kompozicionnyh materialov v transportnoj aviacii [Experience in the use of composite materials in transport aircraft]. *Aviacionnaja promyshlennost'*. – Moscow: NIAT Publ. 1986, no. 9. pp. 9–14.

5. Bychkov S. A., Bondar' V. G., Korol' V. N. Reshenie problemy sozdaniya aviakonstrukcij iz polimernyh kompozicionnyh materialov na ANTK «Antonov» [Solving the problem of creating aircraft structures from poly-dimensional composite

materials on «Antonov»]. *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*. – Kharkov: KhAI Publ. 2003, no. 5 (40). pp. 34–37.

6. Bychkov S. A., Kocjuba A. A. Sostojanie i problemy primeneniya novyh konstrukcionnyh materialov v otechestvennyh grazhdanskih samoletah v sovremennyh uslovijah. Soobshhenie 2. Polimernye kompozity v otechestvennyh samoletah v sovremennyh uslovijah (1995 – 2015 gg.): Pervoprichiny i zakonomernosti vnedrenija [Condition and problems of applying new construction materials in domestic civil aircraft in modern conditions. Message 2. Polymer composites in domestic aircraft in modern conditions (1995-2015): root causes and patterns of implementation]. *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*. – Kharkov: KhAI Publ. 2016, no. 6 (133). pp. 4–14.

7. Beshelev S. D., Gurvich F.G. Matematiko-statisticheskie metody jekspertnyh ocenok [Mathematical and statistical methods of expert estimates]. – Moscow: Statistika Publ. 1980. – 263 p.

8. Jeddous M., Stjensfild R. Metody prinjatija reshenij [Methods of decision making]; per. s angl. chlen-korr. RAN I. I. Eliseevoj. – Moscow: Audit Publ. 1997. – 590 p.

9. Baker A., Dutton S., Kelly D. Composite Materials for Airframe Structures. – Virginia: American Institute for Aeronautics and Astronautics Ins., Reston Publ. 2004. – 599 p.

10. Kompozicionnye materialy. Spravochnik [Composite materials. Directory]; pod red. d.t.n. D. M. Karpinosa. – Kyiv: Naukova dumka Publ. 1985. – 592 p.

11. Kompozicionnye materialy. Spravochnik [Composite materials. Directory]; pod obshh. red. V. V. Vasil'eva i Ju. M. Tarnopol'skogo. – Moscow: Mashinostroenie Publ. 1990. – 512 p.

12. Tomashevich D. L. Konstrukcii i jekonomika samoleta [Aircraft structures and economics]. – M.: Oborongiz, Publ. 1960. – 202 p.

13. 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.

14. Mihajlin Ju. A. Konstrukcionnye polimernye kompozicionnye materialy [Construction polymer composite materials]. – Sankt-Peterburg: Nauchnye osnovy i tehnologii Publ. 2008. – 822 p.

Поступила в редакцию 13.12.2022, рассмотрена на редколлегии 13.12.2022

Інженерна методика реалізації кваліметрії у системі метрологічного забезпечення етапів проектування авіаконструкцій із полімерних композиційних матеріалів

У зв'язку з перманентним зростанням у всьому світі, у тому числі і у вітчизняному літакобудуванні, обсягів застосування полімерних композиційних матеріалів у конструкціях цивільних літаків, актуальною стає проблема аналізу ефективності застосування композитів на всіх етапах життєвого циклу відповідних конструкцій. Запропоновано та обґрунтовано інженерну методику реалізації кваліметрії в системі метрологічного забезпечення основних етапів проектування конструкцій з полімерних композиційних матеріалів у цивільних повітряних суднах транспортної категорії, яка базується на використанні

інтегральних показників якості та експертній оцінці характеристик основних стадій проектування. Розроблено генеральні визначальні таблиці синтезу рівнів значущості основних етапів проектування композитних конструкцій для експертної оцінки ефективності операцій. Встановлено основні (визначальні) принципи інтегральних показників якості складових рівнів проектування. Опора експертів на основні ознаки показників якості етапів проектування забезпечує мінімізацію похибок під час встановлення рангів значимості цих етапів. Проведено декомпозицію класифікатора виду «Проектування авіаконструкцій з полімерних композиційних матеріалів», що систематизує аналіз та синтез основних кроків реалізації запропонованої інженерної методики кваліметричного забезпечення проектування авіаконструкцій з полімерних композиційних матеріалів, послідовність та реалізацію експертною групою. Реалізовано критерій ефективності інженерної методики кваліметричного забезпечення реалізації етапів проектування у формі адитивної моделі відношення ефекту від кожного етапу проектування, вираженого сумою показників якості до сумарних витрат коштів на його забезпечення з урахуванням коефіцієнта значущості показників. Наведено гіпотетичний приклад реалізації запропонованої інженерної методики аналізу результативності на початкових стадіях її освоєння на підприємстві, що прогнозує перспективне зростання обсягів застосування композитів у вітчизняних повітряних суднах транспортної категорії та їх модифікаціях. Запропонована інженерна методика реалізації кваліметрії у системі метрологічного забезпечення етапів проектування композитних конструкцій вітчизняних літаків після практичного апробування та доопрацювання в умовах конкретного виробництва може стати ефективним засобом підвищення результативності прогнозування зростання обсягів застосування полімерних композиційних матеріалів у вітчизняному літакобудуванні.

Ключові слова: цивільні повітряні судна, полімерні композиційні матеріали, метрологічне забезпечення авіаційних конструкцій, критерій ефективності, кваліметричні показники, інженерні методи проектування, експертні оцінки, генеральні визначальні таблиці.

Engineering technique for the implementation of qualimetry in the system of metrological support for the stages of designing aircraft structures from polymer composite materials

In connection with the permanent growth worldwide, including in the domestic aircraft industry, of the use of polymer composite materials in the structures of civil aircraft, the problem of analyzing the effectiveness of the use of composites at all stages of the life cycle of the corresponding structures becomes relevant. An engineering method for the implementation of qualimetry in the system of metrological support for the main stages of designing structures made of polymer composite materials in civil aircraft of the transport category, based on the use of integrated quality indicators and expert assessment of the characteristics of the main design stages, is proposed and justified. General key tables for the synthesis of significance levels of the main stages of designing composite structures for expert evaluation of the effectiveness of operations have been developed. The main (defining) principles of integral indicators of quality of the components of design

levels are established. The reliance of experts on the main features of the quality indicators of the design stages ensures the minimization of errors in establishing the significance ranks of these stages. The decomposition of the classifier of the type "Design of aircraft structures from polymer composite materials" was carried out, which systematizes the analysis and synthesis of the main steps for implementing the proposed engineering methodology for qualimetric support for the design of aircraft structures from polymer composite materials, the sequence and implementation by an expert group. A criterion for the effectiveness of an engineering methodology for qualimetric support for the implementation of design stages has been implemented in the form of an additive model of the ratio of the effect of each design stage, expressed as the sum of quality indicators to the total cost of funds for its provision, taking into account the coefficient of significance of the indicators. A hypothetical example of the implementation of the proposed engineering methodology for analyzing the effectiveness at the initial stages of its development at an enterprise that predicts a promising increase in the volume of use of composites in domestic aircraft of the transport category and their modifications is given. The proposed engineering method for the implementation of qualimetry in the system of metrological support for the stages of designing composite structures of domestic aircraft, after practical testing and refinement in a specific production environment, can become an effective tool for increasing the effectiveness of predicting the growth in the volume of use of polymer composite materials in the domestic aircraft industry.

Keywords: civil aircraft, polymer composite materials, metrological support of aircraft structures, efficiency criterion, qualimetric indicators, engineering design methods, expert assessments, general identification tables.

Сведения об авторах:

Гайдачук Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортных технологий Национального университета «Запорожская политехника», г. Запорожье, Украина, arbalet98@ukr.net, Scopus ID: 24400980600.

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.