

doi: 10.32620/oikit.2020.90.04

УДК 629.7.002:621.762

Wang Bo\*, С. А. Бычков,  
А. В. Гайдачук\*, А. В. Андреев,  
М. Н. Журибеда

## Концептуальный подход к метрологическому обеспечению создания композитных конструкций гражданских самолетов

*Государственное предприятие «АНТОНОВ», Украина  
\*Технологический университет г. Нинбо, КНР*

Разработан и обоснован концептуальный подход к метрологическому обеспечению создания композитных конструкций агрегатов гражданских самолетов.

Показано, что полимерные композиционные материалы в настоящее время занимают значительное место в конструкциях гражданских самолетов и объем их эффективного применения постоянно возрастает, достигая в отдельных случаях 50% от веса планера самолета, что свидетельствует об актуальности проблемы метрологического научного обеспечения создания конструкций этого класса.

Определены основные цели метрологического обеспечения, включающие в себя требования единства и точности измерений, достаточность и достоверность эффективного контроля, высокого качества измерений, а также сокращение сроков и стоимости научных исследований и экспериментов, метрологической надежности, снижение номенклатуры применяемых средств измерений, повышение безопасности условий труда и охраны окружающей среды.

На всех стадиях (этапах) существования самолета эффективность конструкций из полимерных композиционных материалов обеспечивается различными методами, способами и техническими средствами метрологии. Рассмотрены основные составляющие обеспечения качества, которые, будучи различными по своей природе (процесс, свойство, форма соответствия, комплекс приборов, наука), интегрируются в единую систему понятий, формирующих (обеспечивающих) качество объекта.

Предложена блок-схема основных инструментов обеспечения качества, включающая в себя сертификацию, стандартизацию, технические измерения, взаимозаменяемость и метрологию, а также блок-схема общих характеристик качества измерений. Показано, что эти блок-схемы в совокупности формируют концепцию научного обеспечения создания эффективных конструкций композитных агрегатов самолета.

Развитие этой концепции предложено формировать на основе разработанного комплексного критерия эффективности применения полимерных композитов в средах производственно-технологического и научного сопровождения.

Определена структура проведения исследований на базе предложенного концептуального подхода к метрологическому обеспечению создания композитных конструкций агрегатов гражданских самолетов на основных этапах их жизненного цикла.

**Ключевые слова:** авиастроение, полимерные композиционные материалы, метрологическое обеспечение, концепция научного обеспечения, эффективные конструкции, обеспечение качества.

Известно, что полимерные композиционные материалы (ПКМ) в настоящее время занимают весьма значительное место в конструкциях гражданских самолетов и объем их эффективного применения перманентно увеличивается [1–6].

Так, в самолете Boeing 787 Dreamliner 50% веса самолета составляют ПКМ, полностью заменив металлы в фюзеляже; состав материалов в самолете Airbus A 350 XWB включает в себя 52% веса самолета ПКМ, 20% – алюминиевые сплавы, 14% – титан, 7% – сталь и 7% – прочие материалы. Крыло изго-

товлено из ПКМ и является самым большим из созданных для однопалубных самолетов, имея размах 64 м и площадь 443 кв. м [7].

В связи с таким ростом применения ПКМ в гражданских самолетах, в особенности в их силовых агрегатах (крыло, фюзеляж, оперение), весьма актуальной становится проблема метрологического научного обеспечения создания композитных конструкций, основными целями которого являются [8]:

- обеспечение единства и требуемой точности измерений, достоверности и эффективности контроля;
- обеспечение высокого качества, сокращения сроков и стоимости научных исследований и экспериментов, разработки, производства, испытаний и эксплуатации изделий, повышения эффективности управления производством;
- достижение требуемой степени готовности и высокой эффективности применения средств измерений, обеспечение их метрологической надежности;
- сокращение номенклатуры применяемых в отрасли средств измерений и поверки, снижение трудоемкости контрольно-измерительных операций;
- повышение эффективности мероприятий по обеспечению безопасности условий труда;
- обеспечение охраны окружающей среды.

Основными задачами метрологического обеспечения являются определение основных направлений его развития и путей наиболее эффективного использования научных и технических достижений в этой области, а также осуществление программного планирования метрологического обеспечения, увязанного с развитием выпускаемых изделий и метрологическим обеспечением производства [8].

Метрология – один из инструментов, обеспечивающих качество продукции (объекта).

Качество – совокупность свойств (характеристик) объектов (веществ, изделий, процессов), обуславливающих их способность удовлетворять определенные потребности в соответствии со своим назначением.

К основным инструментам обеспечения качества относятся: стандартизация (процесс), сертификация (процесс), взаимозаменяемость (свойство), метрология (наука), технические измерения (приборы) (рис. 1).

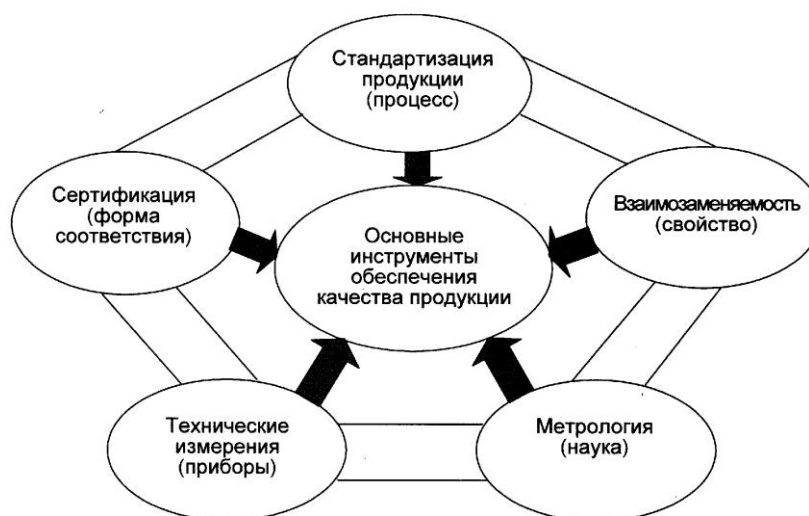


Рис. 1. Блок-схема основных инструментов обеспечения качества продукции

На рис. 1 показана схема основных составляющих (инструментов) обеспечения качества объектов (продукции, услуг).

Эти составляющие, будучи различными по своей природе (процесс, свойство, форма соответствия, комплекс приборов, наука), интегрируются в единую систему понятий, формирующих (обеспечивающих) качество объекта.

Качество определяется устанавливаемыми (назначаемыми или измеряемыми) свойствами (характеристиками) (рис. 2).



Рис. 2. Характеристики качества измерений (метрологические характеристики)

Эти характеристики являются общими для любых объектов, для которых формируется их качество, в том числе и для предмета данного исследования – конструкций из ПКМ и их элементов.

Однако данный объект исследования имеет ряд специфических особенностей, отражающихся как на схеме основных инструментов качества (рис. 1), так и на характеристиках качества его составляющих (рис. 2).

В настоящее время в самолетостроении достаточно развита система сертификации, стандартизации, имеют место современные комплексы технических измерений, хотя и в этих сферах актуальными могут быть задачи дальнейшего совершенствования.

В связи с этим представляется наиболее актуальной создание концепции метрологического научного обеспечения полного жизненного цикла существования гражданских самолетов.

Однако в силу невозможности охвата этой проблемы в рамках настоящего исследования представляется рациональным ограничить ее область композитных конструкций, эффективность которых нашла подтверждение в мировой практике [3, 5, 7].

Развитие этой концепции представляется рациональным формировать на основе комплексного критерия эффективности применения ПКМ в конструкциях гражданских самолетов в средах производственно-технологического и научного сопровождения (рис. 3) [9].

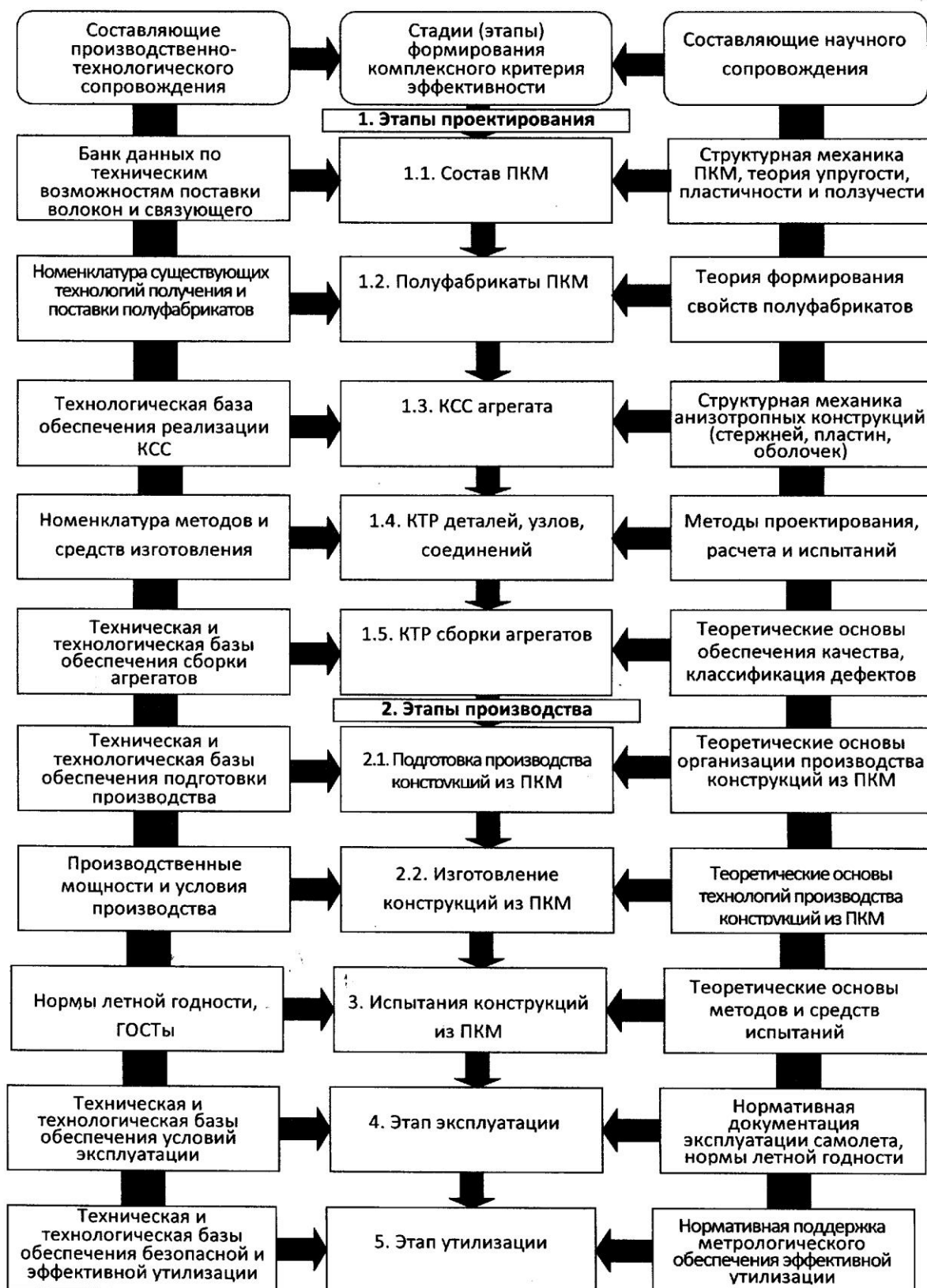


Рис. 3. Схема формирования комплексного критерия второго уровня эффективного применения ПКМ в конструкциях гражданских самолетов в среде производственно-технологического и научного сопровождения

Анализ схемы рис. 3 показывает, что на всех стадиях (этапах) существования самолета эффективность конструкций из ПКМ обеспечивается различными методами, способами и техническими средствами метрологии.

В связи с этим структуру исследования данной проблемы представляется рациональным реализовывать в следующем виде:

1. Сформулировать цели и задачи концепции метрологического и научно-обеспечения создания композитных конструкций агрегатов гражданских самолетов (обзор и анализ состояния проблемы).

2. Установить квалиметрические и численные параметры качества на стадии создания агрегатов конструкций самолетов из полимерных композиционных материалов.

3. Разработать квалиметрическое обеспечение стадий формирования состава и полуфабрикатов ПКМ.

4. Синтезировать теоретические основы квалиметрического сопровождения этапов формирования конструктивно-силовой схемы композитных агрегатов и конструктивно-технологических решений деталей, узлов, соединений и сборки композитных конструкций.

5. Исследовать перспективы квалиметрического обеспечения композитных агрегатов на этапах производства, испытаний, эксплуатации и утилизации.

6. Провести анализ состояния внедрения результатов исследования концепции метрологического обеспечения создания агрегатов композитных конструкций гражданских самолетов.

### **Выводы**

1. Показано, что в мировой практике гражданского самолетостроения растет объем применения полимерных композиционных материалов в силовых агрегатах самолета, что требует повышения всестороннего контроля их качества на этапах проектирования, производства, испытаний, эксплуатации и утилизации средствами метрологии.

2. Представлены блок-схемы основных инструментов обеспечения качества и метрологических характеристик его измерений, в совокупности формирующих концепцию научного обеспечения создания эффективных конструкций композитных агрегатов гражданских самолетов.

3. Развитие этой концепции предложено формировать на основе разработанного комплексного критерия эффективности применения полимерных композитов в средах производственно-технологического и научного сопровождения.

4. Определена структура проведения исследований на базе предложенного концептуального подхода к метрологическому обеспечению создания композитных конструкций агрегатов гражданских самолетов на основных этапах их жизненного цикла.

### **Список литературы**

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

2. Бычков, С. А. Решение проблемы создания авиаконструкций из полимерных композиционных материалов на АНТК «Антонов» / С. А. Бычков,

В. Г. Бондарь, В. Н. Король // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2003. – Вип. 5 (40). – С. 34-37.

3. 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 г.): Первопричины и закономерности внедрения / С. А. Бычков, А. А. Коцюба // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2016. – №6 (133). – С. 4-14.

4. Бычков, С. А. Классификационные аспекты рационального применения полимерных композиционных материалов в конструкциях гражданских самолетов / С. А. Бычков, А. В. Гайдачук, А. В. Андреев, Wang Bo // *Вісник Національного авіаційного університету*. – 2019. – № 3. – С. 16-22.

5. Андреев, А. В. Современные конструктивно-технологические решения агрегатов авиаконструкций из полимерных композиционных материалов и их реализация на предприятии Stelia Aerospace / А. В. Андреев, Я. О. Головченко, А. А. Коцюба // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. трудов Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – 2015. – Вып. 4 (84). – С. 95-104.

6. Гайдачук, А. В. Проблемы безопасности жизнедеятельности в производстве конструкций из полимерных композиционных материалов: тр. междунар. конф. «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов – XXI век» / А. В. Гайдачук. – М.: МГУ. – 2001. – С. 646-651.

7. Шершак, П. В. Особенности обеспечения контроля специальных технологических процессов производства изделий из полимерных композиционных материалов [Электронный ресурс] / П. В. Шершак // *Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение испытаний и измерений в авиационно-космической промышленности» 22-23 октября 2013 г.* – М.: ЦАГИ. – 2013. – С. 233-239. Режим доступа: [https://issuu.com/kutuzof/docs/\\_-cd\\_1](https://issuu.com/kutuzof/docs/_-cd_1) – 25.11.2013.

8. Димов, Ю. В. Метрология, стандартизации и сертификация: учебник для вузов / Ю. В. Димов. – СПб.: Питер, 2010. – 464 с.

9. Гайдачук, А. В. Разработка комплексного критерия рационального выбора полимерных композиционных материалов / А. В. Гайдачук, Wang Bo, С. А. Бычков, А. В. Андреев // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2019. – Т 55, №6. – С. 110-117.

## References

1. Balabuev, P. V. Opyt primeneniya kompozitsionnykh materialov v transportnoy aviatsii [Experience in using composite materials in transport aviation] / P. V. Balabuev // *Aviacionnaya promyshlennost'*. – 1986. – № 9. – С. 9-14.

2. Bychkov, S. A. Reshenie problemy sozdaniya aviakonstruktsiy iz polimernykh kompozitsionnykh materialov na ANTK «Antonov» [Solving the problem of creating aircraft structures from polymer composite materials at ANTK "Antonov"] / S. A. Bychkov, V. G. Bondar', V. N. Korol' // *Aviatsijno-kosmichna tehnika i tehnologija*. – 2003. – Vip. 5 (40). – S. 34-37.

3. Bychkov, S. A. Sostojanie i problemy primeneniya novykh konstruktsionnykh materialov v otechestvennykh grazhdanskih samoletah v sovremennykh uslovijah. Soobshhenie 2. Polimernye kompozity v otechestvennykh samoletah v so-vremennykh

uslovijah (1995 – 2015 g.): Pervoprichiny i zonomernosti vnedre-nija [State and problems of using new structural materials in domestic civil aircraft in modern conditions. Communication 2. Polymer composites in domestic aircraft in modern conditions (1995 - 2015): Root causes and patterns of implementation] / S. A. Bychkov, A. A. Kocjuba // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnolo-gija. – 2016. – №6 (133). – S. 4-14.

4. Bychkov, S. A. Klassifikacionnye aspekty racional'nogo primenenija polimernyh kompozicionnyh materialov v konstrukcijah grazhdanskih samole-tov [Classification aspects of the rational use of polymer composite materials in the structures of civil aircraft] / S. A. Bychkov, A. V. Gajdachuk, A. V. Andreev, Wang Bo // Visnik Nacional'nogo aviacionnogo universitetu. – 2019. – № 3. – S. 16-22.

5. Andreev, A. V. Sovremennye konstruktivno-tehnologicheskie reshenija agregatov aviakonstrukcij iz polimernyh kompozicionnyh materialov i ih realizacija na predpriyatii Stelia Aerospace [Modern design and technological solutions for aircraft structures made of polymer composite materials and their implementation at Stelia Aerospace] / A. V. Andreev, Ja. O. Golovchenko, A. A. Kocjuba // Voprosy proektirovanija i proizvodstva konstrukcij letatel'-nyh apparatov: sb. nauchn. trudov Nac. ajerokosm. un-ta im. N.E. Zhukovskogo «HAI». – 2015. – Vyp. 4 (84). – S. 95-104.

6. Gajdachuk, A. V. Problemy bezopasnosti zhiznedejatel'nosti v proizvodstve konstrukcij iz polimernyh kompozicionnyh materialov: tr. mezhdunar. konf. «Teorija i praktika tehnologij proizvodstva izdelij iz kompozicionnyh materialov i novyh metallischeskikh splavov – 21 vek» [Life safety problems in the production of structures from polymer composite materials: Tr. int. conf. "Theory and practice of technologies for the production of products from composite materials and new metal alloys - 21st century"] / A. V. Gajdachuk. – M.: MGU. – 2001. – S. 646-651.

7. Shershak, P. V. Osobennosti obespechenija kontrolja special'nyh tehnologicheskikh processov proizvodstva izdelij iz polimernyh kompozicionnyh materialov [Features of ensuring control of special technological processes for the production of products from polymer composite materials] [Elektronnyj resurs] / P. V. Shershak // Sbornik dokladov Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii «Metrologicheskoe obespechenie ispytanij i izmerenij v aviacionno-kosmicheskoi promyshlennosti» 22-23 oktjabrja 2013 g. – M. CAGI. – 2013. – S. 233-239. Rezhim dostupa: [https://issuu.com/kutuzof/docs/\\_\\_\\_-cd\\_1\\_](https://issuu.com/kutuzof/docs/___-cd_1_) – 25.11.2013.

8. Dimov, Ju. V. Metrologija, standartizacii i sertifikacija: uchebnik dlja vuzov [Metrology, standardization and certification: a textbook for universities] / Ju. V. Dimov. – SPb.: Piter, 2010. – 464 s.

9. Gajdachuk, A. V. Razrabotka kompleksnogo kriterija racional'nogo vybora polimernyh kompozicionnyh materialov [Development of a comprehensive criterion for the rational choice of polymer composite materials] / A. V. Gajdachuk, Wang Bo, S. A. Bychkov, A. V. Andreev // Fiziko-himichna mehanika materialiv. – 2019. – T 55, №6. – S. 110-117.

Поступила в редакцию 12.12.2020, рассмотрена на редколлегии 12.12.2020

## **Концептуальний підхід до метрологічного забезпечення створення композитних конструкцій цивільних літаків**

Розроблено і обґрунтовано концептуальний підхід до метрологічного забезпечення створення композитних конструкцій агрегатів цивільних літаків.

Показано, що полімерні композиційні матеріали наразі займають значне місце в конструкціях цивільних літаків і обсяг їх ефективного використання постійно зростає і досягає в окремих випадках 50% від ваги планера літака, що свідчить про актуальність проблеми метрологічного наукового забезпечення створення конструкцій цього класу.

Розкрити основні цілі метрологічного забезпечення, що містять вимоги єдності і точності вимірювань, достатності і достовірності ефективного контролю, високу якість вимірювань, а також скорочення термінів і вартості наукових досліджень і експериментів, метрологічної надійності, зниження номенклатури засобів вимірювань, що використовуються, підвищення безпеки умов праці і охорони навколишнього середовища.

На усіх стадіях (етапах) існування літака ефективність конструкцій з ПКМ забезпечується різними методами, способами і технічними засобами метрології. Розглянуто основні складові забезпечення якості, які, будучи різними за своєю природою (процес, властивість, форма відповідності, комплекс приладів, наука), інтегруються до єдиної системи понять, що формують (забезпечують) якість об'єкта.

Запропоновано блок-схему основних інструментів забезпечення якості, що містить сертифікацію, стандартизацію, технічні вимірювання, взаємозамінність і метрологію, а також блок-схему загальних характеристик якості вимірювань. Показано, що ці блок-схеми у сукупності формують концепцію наукового забезпечення створення ефективних конструкцій композитних агрегатів літака.

Розвиток цієї концепції запропоновано формувати на підставі розробленого комплексного критерію ефективності застосування полімерних композитів у середовищі виробничо-технологічного і наукового супроводу.

Визначено структуру проведення досліджень на базі запропонованого концептуального підходу до метрологічного забезпечення створення композитних конструкцій агрегатів цивільних літаків на основних етапах їх життєвого циклу.

**Ключові слова:** авіабудування, полімерні композиційні матеріали, метрологічне забезпечення, концепція наукового забезпечення, ефективність конструкції, забезпечення якості.

## **Conceptual approach to metrological support for the creation of composite structures for civil aircraft**

A conceptual approach to the metrological support of the creation of composite structures for civil aircraft units has been developed and substantiated.

It is shown that polymer composite materials currently occupy a significant place in the structures of civil aircraft and the volume of their effective use is constantly increasing, reaching in some cases 50% of the weight of the airframe, which indicates the relevance of the problem of metrological scientific support for creating structures of this class.

The main goals of metrological assurance have been revealed, including the requirements for the uniformity and accuracy of measurements, the sufficiency and reliability of effective control, high quality measurements, as well as reducing the time and cost of research and experiments, metrological reliability, reducing the range of used measuring instruments, improving the safety of working conditions and environmental protection.



At all stages (stages) of the existence of an aircraft, the effectiveness of structures made of PCM is ensured by various methods, methods and technical means of metrology. The main components of quality assurance are considered, which, being different in nature (process, property, form of conformity, set of devices, science), are integrated into a single system of concepts that form (ensure) the quality of an object.

A block diagram of the main quality assurance tools is proposed, including certification, standardization, technical measurements, interchangeability and metro logic, as well as a block diagram of the general characteristics of the measurement quality. It is shown that these block diagrams together form the concept of scientific support for the creation of efficient structures of composite aircraft assemblies.

It is proposed to form the development of this concept on the basis of the developed complex criterion for the effectiveness of the use of polymer composites in the environments of production, technological and scientific support.

The structure of research is determined on the basis of the proposed conceptual approach to metrological support for the creation of composite structures of civil aircraft units at the main stages of their life cycle.

**Keywords:** aircraft construction, polymer composite materials, metrological support, concept of scientific support, effective designs, quality assurance.

#### **Сведения об авторах:**

**Бычков Сергей Андреевич** – доктор технических наук, профессор, Вице-Президент – Исполнительный Директор ГП «АНТОНОВ», Украина.

**Гайдачук Александр Витальевич** – доктор технических наук, профессор Технологического университета г. Нинбо, КНР, [arbalet98@ukr.net](mailto:arbalet98@ukr.net), Scopus ID: 24400980600.

**Андреев Алексей Викторович** – кандидат технических наук, Заместитель Главного инженера ГП «АНТОНОВ», Украина, [andreev@antonov.com](mailto:andreev@antonov.com)

**Wang Bo** – кандидат экономических наук, доцент Технологического университета г. Нинбо, КНР.

**Журибеда Мария Николаевна** – заместитель Главного метролога ГП «АНТОНОВ», Украина.