

doi: 10.32620/oikit.2021.93.09

УДК 629.7.002:621.762

М. Н. Журибеда

## **Виды метрологических характеристик и состава работ по их определению на основных стадиях существования композитных конструкций агрегатов воздушных судов транспортной категории**

*Государственное предприятие «АНТОНОВ»*

Показано, что развитие концепции метрологического обеспечения создания композитных конструкций агрегатов воздушных судов транспортной категории и их сопровождения на всех этапах существования самолета должно базироваться на формировании комплексного критерия эффективности применения полимерных композиционных материалов. Отмечено, что эффективность конструкции из полимерных композиционных материалов обеспечивается различными методами, способами и техническими средствами метрологии. Обсуждается структура комплекса исследований, направленных на разработку концепции метрологического обеспечения, первым пунктом которого является анализ видов метрологических характеристик и состава работ по их определению на основных стадиях существования композитных конструкций агрегатов воздушных судов транспортной категории. На основе анализа многочисленных публикаций по проблеме метрологического сопровождения основных стадий создания технической продукции установлены основные виды измерения метрологических характеристик композитных конструкций агрегатов воздушных судов транспортной категории, а также определена номенклатура работ по метрологическому обеспечению основных стадий существования этих конструкций. Выделены 12 основных видов измерения параметров, на которых базируется все многообразие производственных физических величин и описание свойств и характеристик конструкций агрегатов воздушных судов из полимерных композиционных материалов. Выявлены основные работы по метрологическому обеспечению пяти стадий существования самолета: проектирования, производства, испытания, эксплуатации и утилизации композитных конструкций, которые сформированы в системы последовательных блоков. Показано, что задачи метрологического обеспечения на предприятиях-изготовителях объекта должны решаться в ходе технологической подготовки серийного производства и испытаний установочной серии изделий, а также должны учитываться особенности эксплуатации самолета и утилизации элементов композитных конструкций в аспектах безопасности работ и экономической эффективности их результатов. Установлена укрупненная последовательность организации работ по метрологическому обеспечению измерения свойств композитных конструкций агрегатов воздушных судов на авиационных предприятиях. Приведенные результаты в первом приближении обеспечивают решение практически важных аспектов обсуждаемой проблемы.

**Ключевые слова:** композитные конструкции агрегатов самолетов, метрологические характеристики измерений, работы по метрологическому обеспечению, стадии существования самолета.

В работе [1], посвященной формулированию концептуального подхода к метрологическому обеспечению создания композитных конструкций агрегатов воздушных судов транспортной категории (ВС ТК), сформулированы цели этого обеспечения, разработана блок-схема основных метрологических инструментов для обеспечения качества конструкций агрегатов из полимерных композиционных материалов (ПКМ), выявлены метрологические характеристики качества измерений (определений).

Показано, что развитие этой концепции должно базироваться на формировании комплексного критерия эффективности применения ПКМ в конструкциях

ВС ТК в средах производственно-технологического и научного сопровождения.

Отмечено, что на всех стадиях существования самолета эффективность конструкции из ПКМ обеспечивается различными методами, способами и техническими средствами метрологии. Обсуждается структура комплекса исследований, направленных на разработку концепции метрологического обеспечения, первым пунктом которого является анализ видов метрологических характеристик и состава работ по их определению на основных стадиях существования композитных конструкций агрегатов ВС ТК, анализу и синтезу которых и посвящена данная статья.

Метрологическое обеспечение создания композитной конструкции ВС ТК – это обоснованный выбор и эффективное применение (реализация) методов и средств единства измерений требуемой точности.

Метрология в широком смысле этого термина, в сущности, включает в себя все пять основных инструментов обеспечения качества, представленных в [1]:

- метрология как наука выявляет измеряемые (подлежащие измерениям) характеристики качества объекта;

- технические средства измерения (приборы, оборудование, инструмент) являются средствами измерения характеристик качества объекта;

- сертификация является формой соответствия метрологических характеристик качества объекта регламентированным требованиям;

- стандартизация обеспечивает разработку правил установления метрологических характеристик объекта, предопределяющих многократное его использование;

- взаимозаменяемость отражает способность идентичных объектов или частей одного объекта выполнять свои функции (реализовывать свои характеристики) при замене одного другим при исходном регламентируемом качестве.

Анализ публикаций, посвященных этим вопросам [2–10 и др.], показывает, что к числу основных задач метрологического обеспечения следует отнести определение основных направлений развития метрологического обеспечения и путей наиболее эффективного использования научных и технических достижений в этой области [2], а также осуществление программного планирования метрологического обеспечения, увязанного с развитием изделий рассматриваемого класса.

В рамках анализа этих направлений автором был проведен синтез основных видов определения (измерения) метрологических характеристик композитных конструкций, результат которого представлен на схеме рис. 1.

Здесь выделено 12 основных видов измерения параметров, на которых базируется все многообразие производных физических величин и обеспечивается описание свойств объектов [7].

1. Измерение геометрических величин – длин, отклонений формы поверхностей, параметров сложных поверхностей, углов.

2. Измерение механических величин – массы, силы, крутящих моментов, напряжений и деформаций, параметров движения, твердости.

3. Измерение параметров потока, расхода, уровня, объема веществ – массового и объемного расхода жидкостей в трубопроводах, расхода газов, вместимости, параметров открытых потоков, уровня жидкости.

4. Измерение давлений, разрежения – измерение избыточного давления,

абсолютного давления, переменного давления, вакуума.

5. Физико-химические измерения – измерение вязкости, плотности, содержания (концентрации) компонентов в твердых, жидких и газообразных веществах, влажности газов, твердых веществ, электрохимические измерения.

6. Теплофизические и температурные измерения – измерение температуры, теплофизических величин.

7. Измерение времени и частоты с применением методов и средств воспроизведения и хранения единиц и шкал времени и частоты, измерение интервалов времени и частоты периодических процессов, применение методов и средств передачи размеров единиц времени и частоты.

8. Измерение электрических и магнитных величин на постоянном и переменном токе – силы тока, количества электричества, электродвижущей силы, напряжения, мощности и энергии, угла сдвига фаз, электрического сопротивления, проводимости, емкости, индуктивности и добротности электрических цепей, параметров магнитных полей, магнитных характеристик материалов.

9. Радиоэлектронные измерения – интенсивности сигналов, параметров формы и спектра сигналов, параметров трактов с сосредоточенными и распределенными постоянными, свойств веществ и материалов радиотехническими методами, антенные измерения.

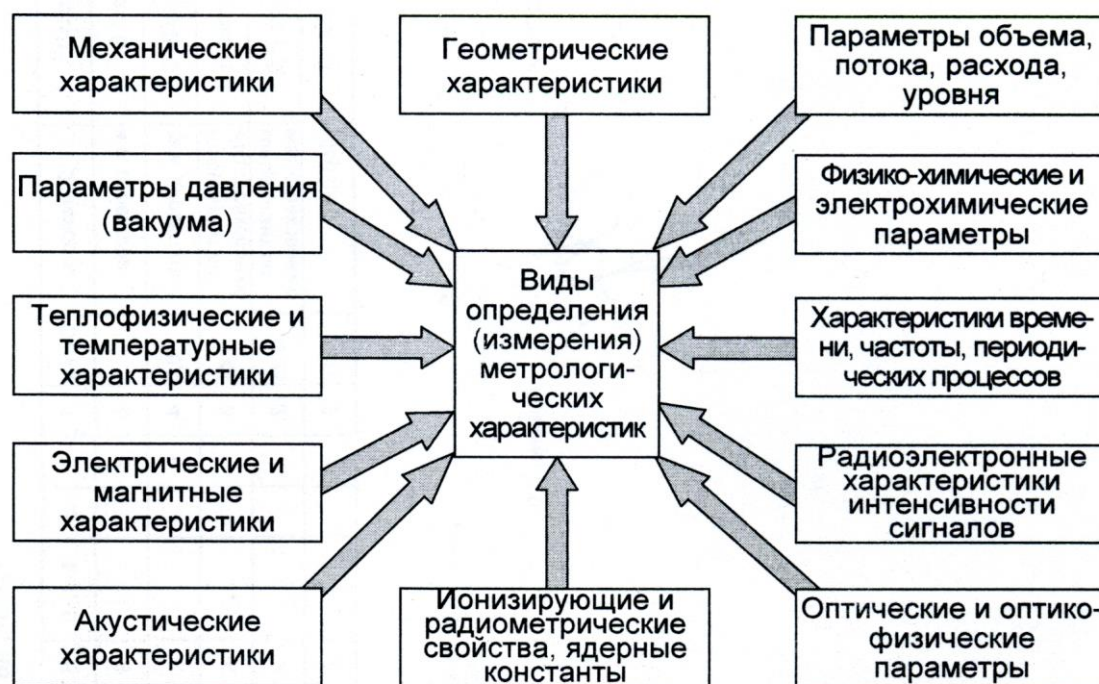


Рис. 1. Виды определения (измерения) метрологических характеристик композитных конструкций агрегатов ВС ТК

10. Измерение акустических величин в воздушной среде, газах, водной среде, твердых телах, аудиометрия и измерение уровня шума.

11. Оптические и оптико-физические измерения – световые, измерения оптических свойств материалов в видимой области спектра, энергетических параметров некогерентного оптического излучения, энергетических параметров пространственного распределения энергии и мощности непрерывного и им-

пульсного лазерного и квазимонохроматического излучения, спектральных, частотных характеристик, поляризации лазерного излучения, параметров оптических элементов, оптических характеристик материалов, характеристик фотоматериалов и оптической плотности.

12. Измерение ионизирующих излучений и ядерных констант – дозиметрических характеристик ионизирующих излучений, спектральных характеристик ионизирующих излучений, активности радионуклидов, радиометрических характеристик ионизирующих излучений.

Углубленный анализ источников [2–10] позволил решить и вторую поставленную выше задачу – выявить основной состав номенклатуры работ по метрологическому обеспечению пяти стадий существования композитных конструкций агрегатов ВС ТК: проектирования, производства, испытаний, эксплуатации и утилизации изделий (рис. 2).

Подробный состав основных работ по метрологическому обеспечению этих стадий представлен схематично на рис. 3–7. Блоки работ построены в иерархическом порядке.

Содержание этих блоков предполагает их конкретизацию.

Метрологическое обеспечение осуществляется в соответствии с требованиями, установленными в стандартах Государственной и отраслевых систем обеспечения единства измерений, методологических указаниях, инструкциях и других руководящих и нормативно-технических документах.

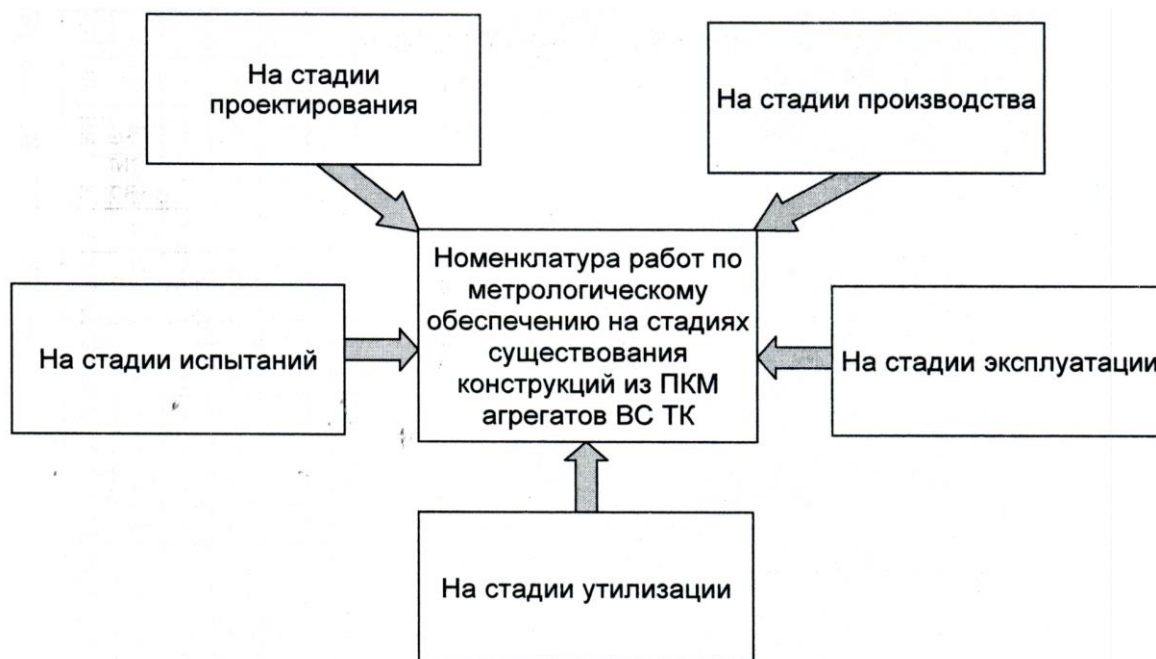


Рис. 2. Номенклатура работ по метрологическому обеспечению на основных стадиях существования композитных конструкций агрегатов ВС ТК

Готовность предприятия к метрологическому обеспечению выпускаемых изделий заключается в наличии нормативной и технической документации, средств измерения и контроля, поверочного и испытательного оборудования, специалистов необходимой квалификации и условий, обеспечивающих требуемую точность и достоверность измерений.

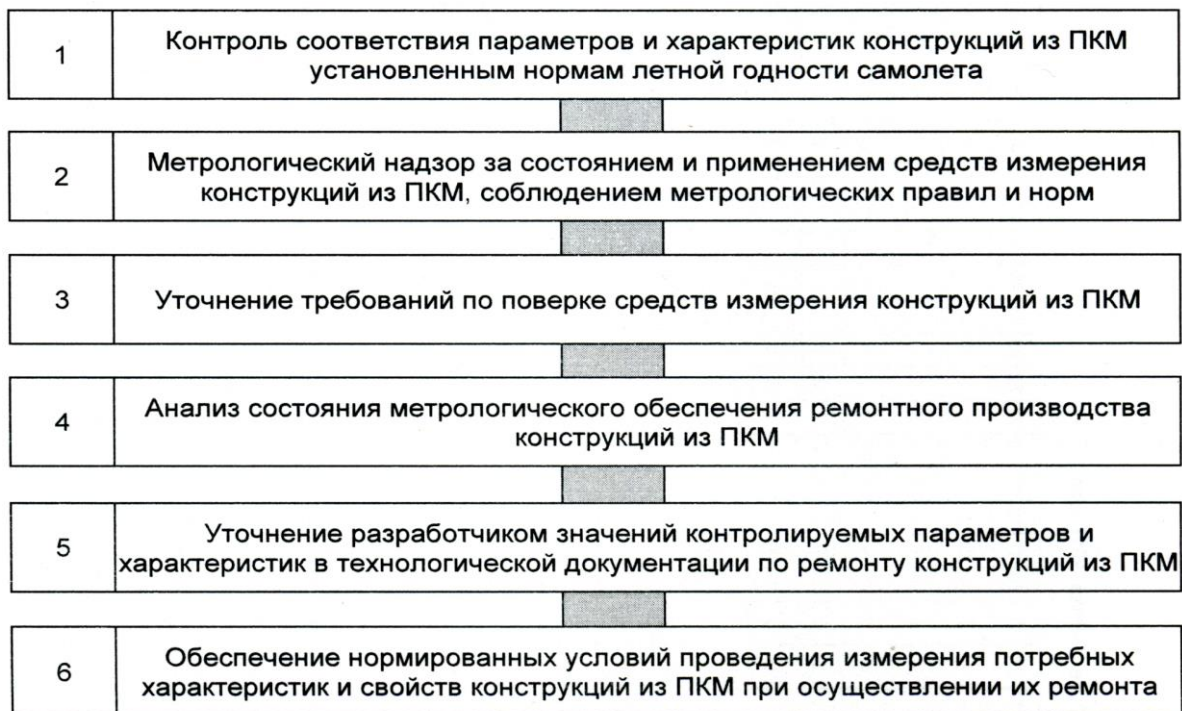


Рис. 3. Основные работы по метрологическому обеспечению на стадии проектирования композитных конструкций агрегатов ВС ТК

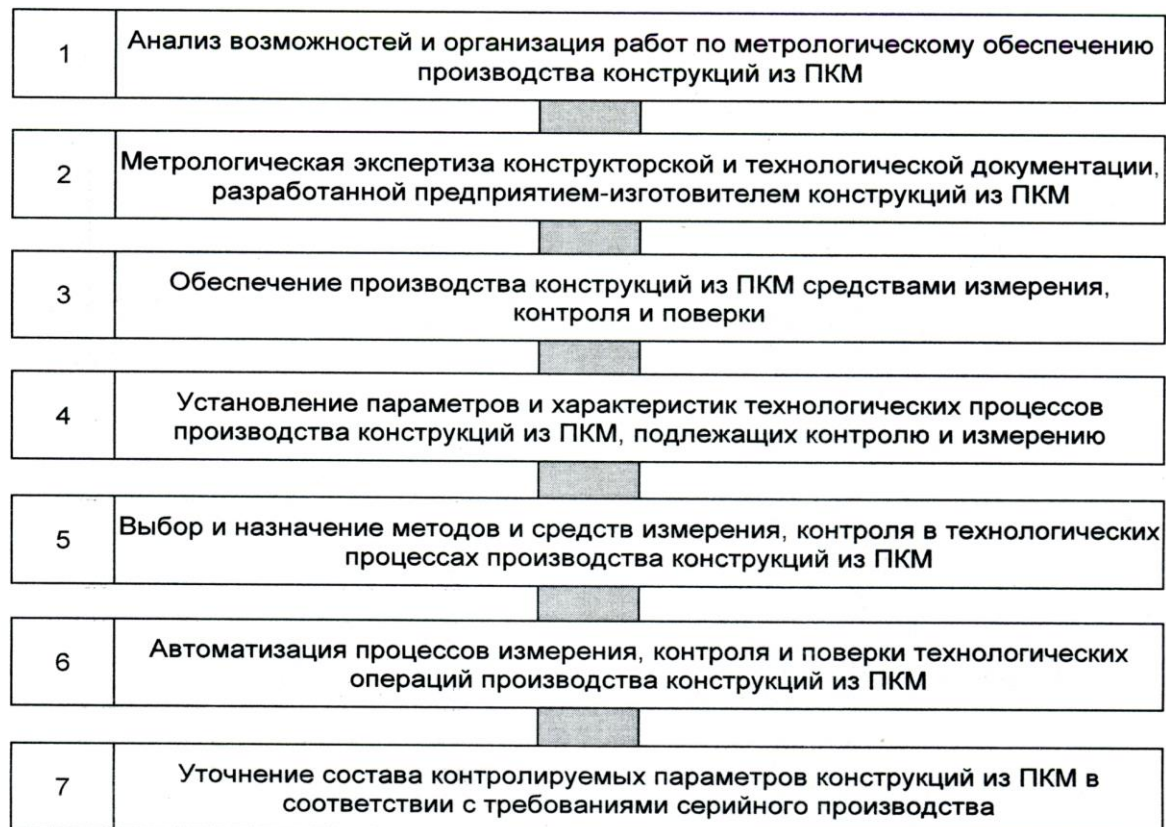


Рис. 4. Основные работы по метрологическому обеспечению на стадии производства композитных конструкций агрегатов ВС ТК

Реализация задач метрологического обеспечения на предприятии-разработчике должна осуществляться на этапах: разработки конструкторской документации; технологической подготовки опытного производства; опытного производства композитных конструкций агрегатов ВС ТК; испытаний опытного образца изделий, а также эксплуатации и утилизация агрегата.

Задачи метрологического обеспечения на предприятии-изготовителе должны осуществляться в ходе технологической подготовки серийного производства и испытаний установочной серии изделий и могут быть разделены на работы, проводимые при технологическом контроле конструкторской документации, разработке технологических процессов, проектировании и изготовлении технологического оснащения.

Метрологическое обеспечение изделий на предприятии осуществляется в соответствии с планами, составляемыми в целом для предприятия и для подразделений, участвующих в разработке композитных конструкций агрегатов ВС ТК и технологической подготовке их производства.

Основанием для разработки такого плана является решение о разработке ВС ТК, создании нового или совершенствовании действующего производства.

1	Анализ возможностей и организация работ по метрологическому обеспечению комплекса испытаний конструкций из ПКМ
2	Метрологический надзор за состоянием и применением методов и средств испытаний конструкций из ПКМ
3	Уточнение требований по поверке средств измерения, входящих в состав комплекса испытаний конструкций из ПКМ
4	Анализ состояния средств измерения комплекса метрологического сопровождения и обеспечения испытаний конструкций из ПКМ
5	Обеспечение нормированных условий и программ испытаний конструкций из ПКМ
6	Метрологическое сопровождение комплекса испытаний конструкций из ПКМ
7	Анализ результатов испытаний конструкций из ПКМ и их метрологический контроль
8	Составление документации и рекомендаций по результатам испытаний конструкций из ПКМ

Рис. 5. Основные работы по метрологическому обеспечению на стадии испытаний композитных конструкций агрегатов ВС ТК

1	Определение номенклатуры и нормирование параметров конструкций из ПКМ, требований к погрешностям их измерения, в том числе контролируемых в процессе эксплуатации
2	Выбор методов контроля технического состояния конструкции из ПКМ, определение метрологических требований к диапазону измерения параметров точности и условий эксплуатации
3	Определение номенклатуры типов средств измерения и контроля конструкции из ПКМ и средств поверки
4	Определение перечня требований к контролепригодности конструкции из ПКМ
5	Разработка требований к метрологическому обеспечению программы испытаний конструкции из ПКМ и точностным характеристикам средств испытаний
6	Разработка методов и средств поверки измерений конструкции из ПКМ
7	Выбор и обоснование средств контроля конструкции из ПКМ в процессе эксплуатации самолета
8	Организация и проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации на конструкцию из ПКМ, устранение замечаний
9	Разработка программы и методики предварительных испытаний опытной конструкции из ПКМ, проведение метрологической экспертизы программы
10	Проведение метрологической экспертизы предварительных испытаний конструкции из ПКМ, устранение замечаний
11	Определение фактических значений основных параметров конструкции из ПКМ при проведении испытаний и оценка их соответствия техническому заданию
12	Устранение дефектов и отклонений от требований технического задания на конструкцию из ПКМ

Рис. 6. Основные работы по метрологическому обеспечению на стадии эксплуатации композитных конструкций агрегатов ВС ТК

Перечень мероприятий по метрологическому обеспечению, подлежащих включению в план разработки самолета, устанавливает отдел главного метролога предприятия на основе предложений подразделений.

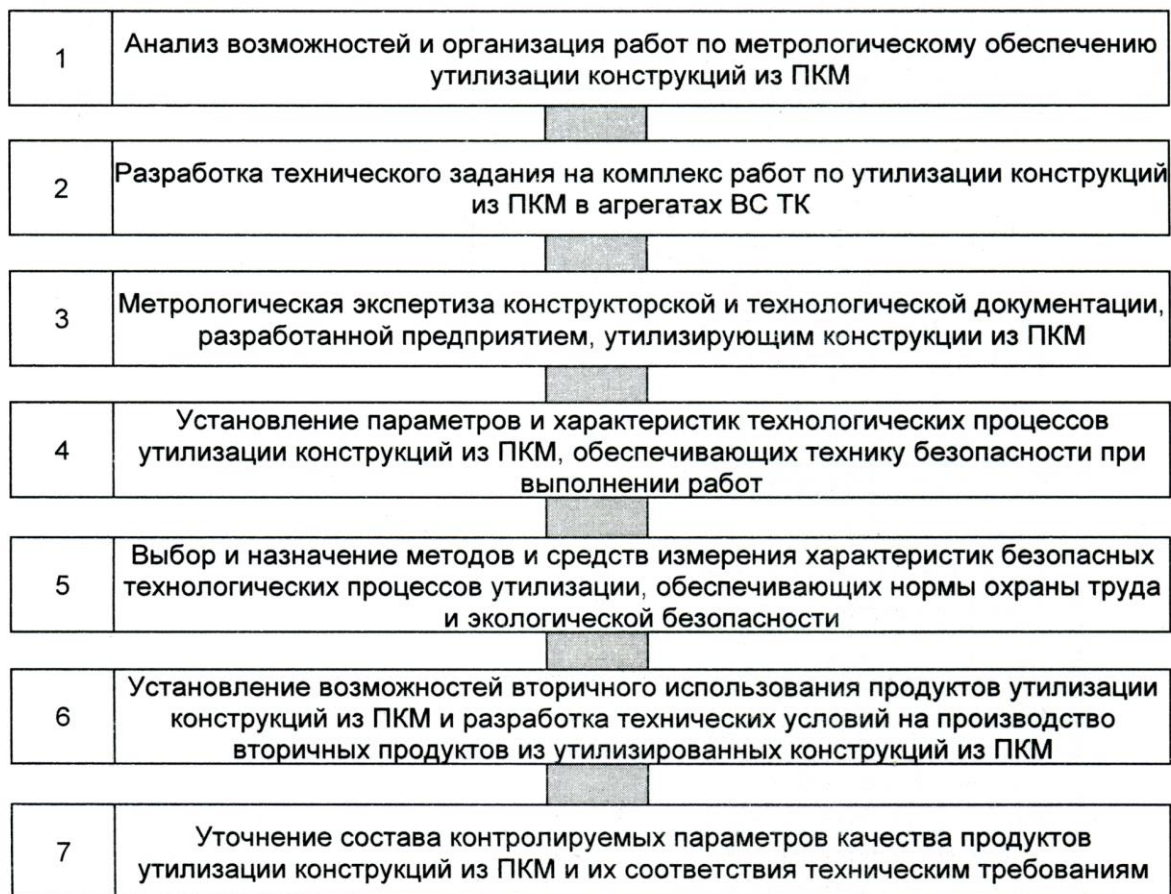


Рис. 7. Основные работы по метрологическому обеспечению на стадии утилизации композитных конструкций агрегатов ВС ТК

Исходные документы для разработки плана по метрологическому обеспечению самолета и его осуществления на предприятии-разработчике включают в себя согласованное и утвержденное техническое задание на разработку самолета и его агрегатов, а на предприятии-изготовителе – техническое задание на создание нового или совершенствование действующего производства, конструкторскую и технологическую документацию, переданную предприятию-изготовителю в качестве исходной для серийного производства, в соответствии с требованиями соответствующего стандарта.

При планировании мероприятий по метрологическому обеспечению следует учитывать:

- тип производства (единичное, мелкосерийное и т. д.);
- специфику разработки изделий, создаваемых по тактико-техническим заданиям;
- оснащенность предприятия средствами измерения, контроля и испытания;
- состояния метрологического обеспечения на предприятии.

Отдел главного метролога совместно с другими подразделениями предприятия обеспечивает единство и требуемую точность измерений, совершенствует измерительную технику и обеспечивает ее постоянную готовность к выполнению измерений, контроля и испытаний.



## Выводы

1. На основе анализа многочисленных публикаций по проблеме метрологического сопровождения основных стадий создания технической продукции установлены основные виды измерения метрологических характеристик композитных конструкций агрегатов ВС ТК, а также определена номенклатура работ по метрологическому обеспечению основных стадий существования этих конструкций.

2. Выделены 12 основных видов измерения параметров, на которых базируется все многообразие производных физических величин и описание свойств и характеристик конструкций из ПКМ агрегатов ВС ТК.

3. Выявлены основные работы по метрологическому обеспечению пяти стадий существования самолета: проектирования, производства, испытания, эксплуатации и утилизации композитных конструкций, которые сформированы в системы последовательных блоков.

4. Установлена укрупненная последовательность организации работ по метрологическому обеспечению измерения свойств композитных конструкций агрегатов ВС ТК на предприятиях, создающих авиационную технику.

Приведенные результаты в первом приближении обеспечивают решение практически важных аспектов обсуждаемой проблемы.

## Список литературы

1. Концептуальный подход к метрологическому обеспечению создания композитных конструкций гражданских самолетов / Ванг Бо, С. А. Бычков, А. В. Гайдачук, А. В. Андреев, М. Н. Журибеда // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Харьков, 2020. – Вып. 90. – С. 56–64. doi: 10.32620/oikit.2020.90.07.

2. Саранча, Г. А. Метрологія, стандартизація, відповідальність, акредитація та управління якістю : підручник / Г. А. Саранча. – Київ : Центр навчальної літератури, 2006. – 672 с.

3. Саранча, Г. А. Метрологія, стандартизація, управління якістю : підручник / Г. А. Саранча. – Київ : Либідь, 1999. – 256 с.

4. Дорожевец, М. Основы метрологии та вимірювальної техніки. У 2 т. Т. 1. Основы метрологии / М. Дорожевец, В. Мютало, В. Стадник. – Львів : Львівська політехніка, 2005. – 532 с.

5. Боженко, Л. І. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація : навч. посіб. / Л. І. Боженко. – Львів : Адена, 2004. – 326 с.

6. Бичківський, Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю : підручник / Р. В. Бичківський, П. І. Столярчук, П. Р. Гамула. – Львів : Львівська політехніка, 2004. – 580 с.

7. Димов, Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. для вузов / Ю. В. Димов. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2010. – 461 с.

8. Кравченко, Е. В. Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. пособие / Е. В. Кравченко, Ю. К. Кривогузова, И. П. Озерова. – Томск : Томский политехнический университет, 2013. – 187 с.

9. Шишмарев, В. Ю. Метрология, стандартизация, сертификация и техническое регулирование : учебник / В. Ю. Шишмарев. – 6-е изд., исп. – М. : Акаде-

мия, 2016. – 320 с.

10. ОСТ 1 00370-96. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение изделий авиационной техники. Основные положения. – На замену ОСТ 1 00370-80; действует с 01.01.1997. – М : НИИСУ, 1996. – 11 с.

### References

1. Wang Bo, Bychkov, S. A., Gajdachuk, A. V., Andreev, A. V., Zhuribeda, M. N. *Konceptual'nyj podhod k metrologicheskomu obespecheniju sozdaniya kompozitnyh konstrukcij grazhdanskih samoletov* [A conceptual approach to metrological support for the creation of composite structures for civil aircraft]. *Otkrytye informacionnye i komp'yuternye 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.

2. Sarancha, G. A. *Metrologiya, standarty`zaciya, vidpovidal`nist`, akredy`taciya ta upravlinnya yakisty : pidruchny`k* [Metrology, standardization, responsibility, accreditation and quality management: textbook]. Ky`yiv: Centr navchal`noyi literatury`, Publ. 2006. 672 p.

3. Sarancha, G. A. *Metrologiya, standarty`zaciya, upravlinnya yakisty : pidruchny`k* [Metrology, standardization, quality management: textbook]. Ky`yiv: Ly`bid`, Publ. 1999. 256 p.

4. Dorozhevecz`, M., Myutalo, V., Stadny`k, V. *Osnovy` metrologiyi ta vy`miryval`noyi texniki`. V 2 t. T. 1. Osnovy` metrologiyi* [Fundamentals of metrology and measuring equipment. In 2 vols. V. 1. Fundamentals of metrology]. L`viv: L`vivs`ka politexnika, Publ. 2005. 532 p.

5. Bozhenko, L. I. *Metrologiya, standarty`zaciya, serty`fikaciya ta akredy`taciya : navch. posibn.* [Metrology, standardization, certification and accreditation: textbook manual] L`viv: Adena, Publ. 2004. 326 p.

6. By`chkivs`ky`j, R. V., Stolyarchuk, P. I., Gamula, P. R. *Metrologiya, standarty`zaciya, upravlinnya yakisty : pidruchny`k* [Metrology, standardization, quality management: textbook]. L`viv: L`vivs`ka politexnika, Publ. 2004. 580 p.

7. Dimov, Ju. V. *Metrologija, standartizacija i sertifikacija : uchebn. dlja vuzov. 3-e izd.* [Metrology, standardization and certification: textbook. for universities]. SPb: Piter, Publ. 2010. 461 p.

8. Kravchenko, E. V., Krivoguzova, Ju. K., Ozerova, I. P. *Metrologija, standartizacija i sertifikacija : uchebn. posobie* [Metrology, standardization and certification: textbook allowance]. Tomsk: Tomskij politehnicheskij universitet, Publ. 2013. 187 p.

9. Shishmarev, V. Ju. *Metrologija, standartizacija, sertifikacija i tehničeskoe regulirovanie : uchebnik. 6-e izd., isp.* [Metrology, standardization, certification and technical regulation: textbook]. Moscow: «Akademija», Publ. 2016. 320 p.

10. ОСТ 1 00370-96. *Otraslevaja sistema obespečenija edinstva izmerenij. Metrologičeskoe obespečenije izdelij aviacionnoj tehniki. Osnovnye položhenija* [Sectoral system for ensuring the uniformity of measurements. Metrological support of aviation equipment. Basic provisions]. Na zamenu OST 1 00370-80, dejstvuet s 01.01.1997. Moscow: NIISU, Publ. 1996. 11 p.

Надійшла до редакції 10.09.2021. Розглянута на редколегії 14.09.2021.

## **Види метрологічних характеристик і складу робіт з їх визначення на основних стадіях існування композитних конструкцій агрегатів повітряних суден транспортної категорії**

Показано, що розвиток концепції метрологічного забезпечення створення композитних конструкцій агрегатів повітряних суден транспортної категорії та їх супроводження на всіх етапах існування літака має ґрунтуватися на формуванні комплексного критерію ефективності застосування полімерних композиційних матеріалів. Зазначено, що ефективність конструкції з полімерних композиційних матеріалів забезпечується різними методами, способами й технічними засобами метрології. Обговорюється структура комплексу досліджень, спрямованих на розроблення концепції метрологічного забезпечення, першим пунктом якого є аналіз видів метрологічних характеристик і складу робіт з їх визначення на основних стадіях існування композитних конструкцій агрегатів повітряних суден транспортної категорії. На основі аналізу численних публікацій з проблеми метрологічного супроводження основних стадій створення технічної продукції встановлено основні види вимірювання метрологічних характеристик композитних конструкцій агрегатів повітряних суден транспортної категорії, а також визначено номенклатуру робіт з метрологічного забезпечення основних стадій існування цих конструкцій. Виокремлено 12 основних видів вимірювання параметрів, на яких базується все різноманіття виробничих фізичних величин та опис властивостей і характеристик конструкцій агрегатів повітряних суден з полімерних композиційних матеріалів. Виявлено основні роботи з метрологічного забезпечення п'яти стадій існування літака: проектування, виробництва, випробування, експлуатації та утилізації композитних конструкцій, які сформовано в системи послідовних блоків. Показано, що завдання метрологічного забезпечення на підприємствах-виробниках об'єкта мають вирішуватися під час технологічної підготовки серійного виробництва й випробувань установчої серії виробів, а також мають ураховуватися особливості експлуатації літака й утилізації елементів композитних конструкцій в аспектах безпеки робіт та економічної ефективності їх результатів. Установлено укрупнену послідовність організації робіт з метрологічного забезпечення вимірювання властивостей композитних конструкцій агрегатів повітряних суден на авіаційних підприємствах. Наведені результати в першому наближенні забезпечують вирішення практично важливих аспектів обговорюваної проблеми.

**Ключові слова:** композитні конструкції агрегатів літаків, метрологічні характеристики вимірювань, роботи з метрологічного забезпечення, стадії існування літака.

## **Types of metrological characteristics and scope of work to determine them at the main stages of the existence of composite structures of transport category aircraft units**

It is shown that the development of the concept of metrological support for the creation of composite structures of aircraft aggregates of the transport category and their support at all stages of the existence of an aircraft should be based on the formation of a complex criterion for the effectiveness of the use of polymer composite

materials. It is noted that the effectiveness of a structure made of polymer composite materials is provided by various methods, methods and technical means of metrology. The structure of a complex of studies aimed at developing the concept of metrological support is discussed, the first point of which is to analyze the types of metrological characteristics and the scope of work to determine them at the main stages of the existence of composite structures of aircraft aggregates of the transport category. Based on the analysis of numerous publications on the problem of metrological support of the main stages of creating technical products, the main types of measurements of the metrological characteristics of composite structures of aircraft aggregates of the transport category have been established, and the composition of the nomenclature of works on metrological support of the main stages of the existence of these structures has been determined. 12 main types of measurements of parameters have been identified, on which the whole variety of production physical quantities and the description of the properties and characteristics of structures of aircraft aggregates made of polymer composite materials are based. The composition of the main works on the metrological support of the four stages of the existence of the aircraft is revealed: design, production, operation and disposal of composite structures formed into systems of sequential blocks for performing these works. It is shown that the tasks of metrological support at the facility manufacturers should be solved during the technological preparation of serial production and testing of the installation series of products, and also take into account the peculiarities of aircraft operation and disposal of composite structural elements in terms of work safety and economic efficiency of their results. An enlarged sequence has been established for organizing work on metrological support for measuring the properties of composite structures of aircraft aggregates at aviation enterprises. The results presented in the first approximation provide a solution to practically important aspects of the problem under discussion.

**Key words:** composite structures of aircraft aggregates, metrological characteristics of measurements, scope of work on metrological support, stages of aircraft existence.

#### **Сведения об авторе:**

**Журибеда Мария Николаевна** – аспирант Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», главный метролог ГП «АНТОНОВ», г. Киев, Украина, [98arbalet@ukr.net](mailto:98arbalet@ukr.net).

#### **About the Author:**

**Zhuribeda Maria** – postgraduate student of the National Aerospace University. N. Ye. Zhukovsky "Kharkov Aviation Institute", Chief Metrologist of SE "ANTONOV", Kiyv, Ukraine, [98arbalet@ukr.net](mailto:98arbalet@ukr.net).