

УДК 006.11:629.735.03

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ СПЕКТРОМЕТРОВ ДЛЯ ТРИБОДИАГНОСТИКИ ГТД

А.А. БОГОЯВЛЕНСКИЙ

Статья посвящена вопросам организации обеспечения единства измерений при проведении межведомственных испытаний нового поколения средств трибодиагностики авиационных ГТД на примере рентгеноспектральных анализаторов. Приводится обобщение полученных при испытаниях результатов измерений концентрации продуктов изнашивания в работающих маслах, а также даются рекомендации и выводы.

Ключевые слова: авиационный ГТД, единство измерений, концентрация продуктов изнашивания, межведомственные испытания, трибодиагностика.

Решение о проведении межведомственных испытаний принято Управлением поддержания летной годности ВС Росавиации с целью подтверждения единства, точности, правильности (прецизионности) измерений на основе гармонизации с международной практикой. На испытания представлены современные средства трибодиагностики авиационных ГТД - рентгеноспектральные спектрометры отечественного производства: типа БРА-18, Спектроскан МАКС-G, Спектроскан МАКС-GV, АДК «Призма» и X-Арт М. Экспериментальная часть исследований проведена совместно с ФГУП ЦИАМ, НИЦ ЭРАТ, другими ведущими отечественными научными организациями при участии предприятий-разработчиков спектрометров. При организации обеспечения единства измерений в процессе проведения межведомственных испытаний автором был рассмотрен и исследован ряд вопросов [1].

Стандартные образцы

При проведении испытаний использовались стандартные образцы ранга «стандартный образец предприятия» (СОП). При этом СОП - согласно ГОСТ 8.315 [2] - это стандартный образец, утвержденный руководителем предприятия (организации) и применяемый в соответствии с требованиями нормативных документов предприятия (организации), утвердившего СО. Основные метрологические и технические требования к стандартным образцам изложены в ГОСТ 8.315 [2] и стандарте отрасли ОСТ 54-3-155.83 [3]. При изготовлении СОП использованы фильтроэлементы Владипор марки МФАС-М-2; диаметр отпечатка (12 ± 1) мм. При этом объем прокачиваемого масла составил ($15 \pm 0,1$) мл на каждый экземпляр СОП.

Применявшиеся при испытаниях комплекты СОП изготовлены ООО «Диагностические технологии»; при этом изготовителем были аттестованы (с нормированием погрешности значения концентраций) СОП по элементам Fe, Cu, Cr и Ni, которые изготовлены на фильтроэлементах. Относительное значение погрешности определения аттестованного содержания элементов не превышает $\pm (2,0 - 2,5) \%$ [4; 5]. По остальным химическим элементам, содержащимся в СОП (Ti, Mg, Al, Ag и Si), погрешность аттестованных значений изготовителем не нормирована.

Кроме того, погрешность содержания всех химических элементов в стандартных образцах-суспензиях не нормирована ни по одному из них. Таким образом, в связи с отсутствием погрешностей аттестованных значений содержания химических элементов в стандартных образцах, изготовленных ООО «Диагностические технологии», значения концентраций, заданные в

СОП при дальнейшей обработке результатов испытаний приняты в качестве опорных значений, в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-1 [6].

Спектрометры

В испытаниях принимали участие спектрометры в различных вариантах конструктивного исполнения, в основу которых заложен рентгеноспектральный принцип (метод) анализа [1]. Все типы участвовавших в испытаниях спектрометров (БРА-18 (рис. 1), Спектроскан МАКС-G, Спектроскан МАКС-GV, АДК «Призма» и X-Арт М) проходили государственные и (или) ведомственные испытания [7] и имеют сертификаты типа по государственному реестру средств измерений и (или) регистрационные удостоверения Федерального агентства воздушного транспорта о внесении в Перечень специальных средств измерений, применяемых в ГА РФ.



Рис. 1. Внешний вид спектрометра БРА-18

При этом спектрометр X-Арт-М не имеет регистрационного удостоверения о прохождении ведомственных испытаний (сертификата соответствия), что может послужить препятствием для его применения на предприятиях ВТ.

До начала экспериментальной части испытаний проведена метрологическая экспертиза эксплуатационной документации на спектрометры с учетом положений РМГ 63 [8] и ОСТ 54-3-156.66 [9]. При проведении экспертизы подтверждено соответствие эксплуатационной документации по содержанию и форме требованиям ГОСТ 2.601 [10] и ГОСТ 2.610 [11], что позволяет организациям по ТООР АТ обеспечить эффективную эксплуатацию спектрометров. В комплекты эксплуатационной документации спектрометров БРА-18, Спектроскан МАКС-G, Спектроскан МАКС-GV, АДК «Призма» и X-Арт М входят методики проведения работ по периодическому метрологическому обслуживанию (поверки или калибровки), которые отвечают положениям РМГ 51 [12] и Р РСК 002 [13].

Участвовавшие в испытаниях спектрометры имеют технические различия и возможности, приведенные в табл. 1.

Программное обеспечение и методы измерений

Одним из неотъемлемых элементов каждого из испытываемых спектрометров как типа средства измерений является автономное и неавтономное программное обеспечение (ПО), без кото-

рого не представляется возможным функционирование названных приборов. Однако само ПО может являться источником дополнительных погрешностей измерений.

Таблица 1

Тип спектрометра	Возможности анализа					Наличие в организациях по ТОиР АТ
	время экспозиции, с	легких элементов			жидких проб (без дополнительной подготовки)	
		Ag	Al, Mg	Si		
БРА-18	200	+	+	+	+	+
Спектроскан МАКС-GV	40	-	+	+	-	+
Спектроскан МАКС-G	40	-	-	-	-	+
АДК «Призма»	90	-	-	-	-	+
Х-Арт-М	200	+	+	+	+	-

В процессе анализа состояния метрологического обеспечения, проведенного перед началом проведения испытаний, было подтверждено, что ПО спектрометров БРА-18, Спектроскан МАКС-G, Спектроскан МАКС-GV, АДК «Призма» и Х-Арт М прошло тестирование или метрологическую аттестацию в процессе утверждения типа средств измерений и в основном соответствует положениям ГОСТ 8.654 [14].

В процессе проведения испытаний при работе каждого из спектрометров применялись индивидуальные методики измерений, соответствующие по точностным характеристикам, форме и содержанию основным положениям национального стандарта ГОСТ Р 8.563 [15] и стандарта отрасли ОСТ 54-3-154.82 [16].

Однако для проведения измерения концентрации продуктов изнашивания в жидких пробах работающих авиационных масел отсутствуют документально оформленные и аттестованные по ГОСТ Р 8.563 [15] и ОСТ 54-3-154.82 [16] методики измерений, что требует проведения дополнительных мероприятий.

Расчет пределов обнаружения химических элементов проводился по специальным формулам, содержащимся в программах испытаний. Полученные при этом результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Спектрометры	Пределы обнаружения химических элементов $C_{пр}$, г/т					
	Fe	Cu	Si	Mg	Al	Ti
1. СОП на фильтрах Владипор						
Спектроскан МАКС-GV	0,002	0,004	0,001	0,007	0,003	-
Спектроскан МАКС-G	0,002	0,004	-	-	-	-
АДК «Призма»	0,013	0,012	-	-	-	-
Х-Арт М	0,012	0,025	0,032	-	0,037	0,01
БРА-18	0,007	0,006	0,02	0,07	0,020	-
2. Жидкие СОП						
БРА-18	0,32	0,15	1,09	-	0,60	-

В процессе предварительной обработки результатов испытаний были использованы статистические критерии, установленные ГОСТ Р ИСО 5725-1 [6].

Повторяемость (сходимость). Согласно РМГ 29 [17] **повторяемость (сходимость)** – это близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью. При этом согласно ГОСТ Р ИСО 5725-1 [6] **повторяемость** – это прецизионность в условиях повторяемости. Сводные результаты расчёта повторяемости (сходимости) обобщены и представлены на рис. 2, 3.

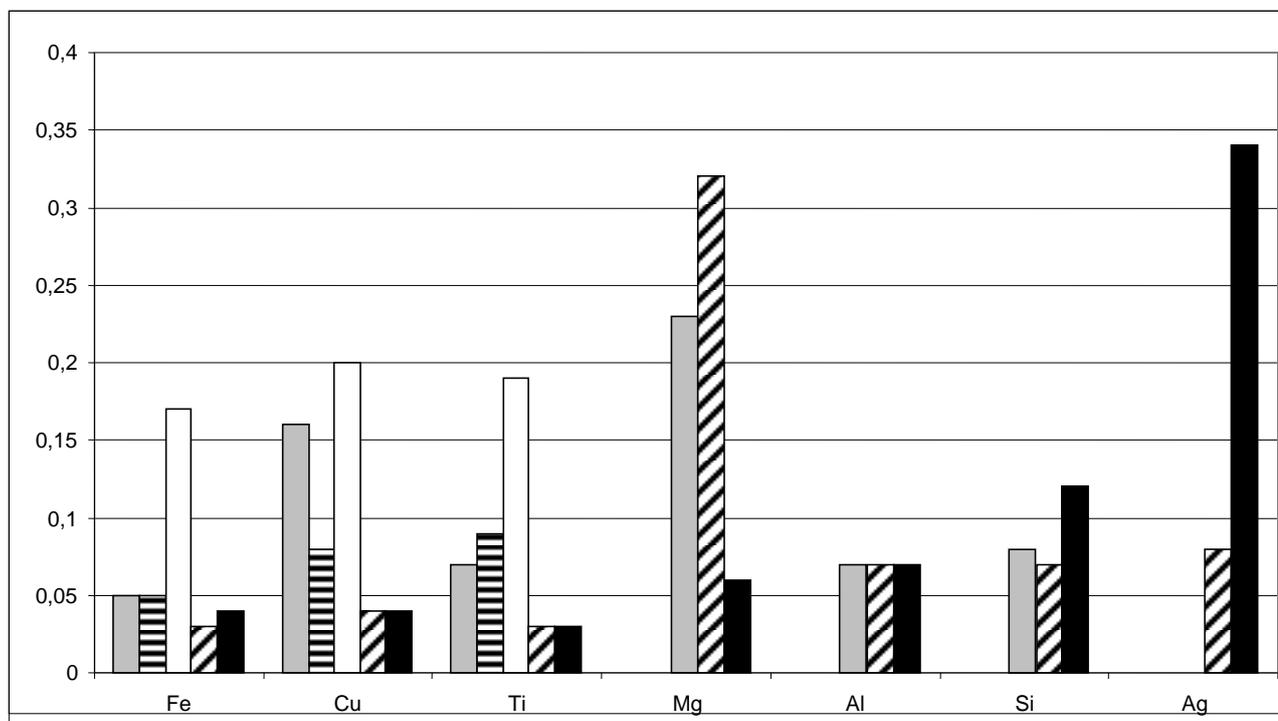


Рис. 2. Однокомпонентные СОП на фильтрах Владипор (повторяемость - сходимость): по оси ординат – концентрация, г/т; по оси абсцисс – химические элементы и типы спектрометров:
 ■ - спектроскан МАКС-GV; ▨ - спектроскан МАКС-G;
 □ - АДК «Призма»; ▩ - X-Арт; ■ - БРА-18

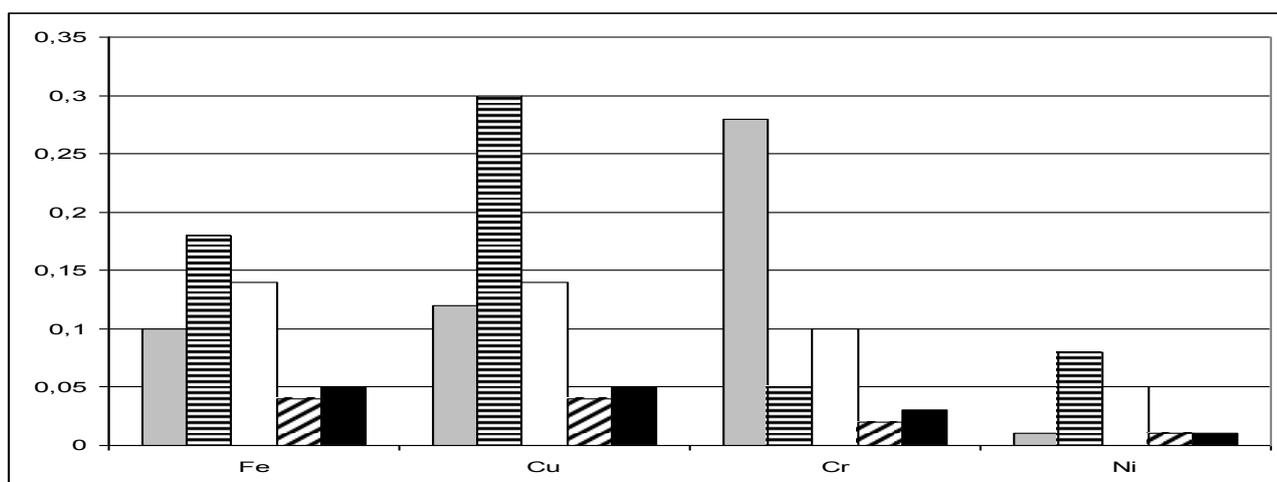


Рис. 3. Четырехкомпонентные СОП на фильтрах Владипор (повторяемость - сходимость): по оси ординат - концентрация, г/т; по оси абсцисс – химические элементы и типы спектрометров (аналогично рис. 2)

Правильность (точность). Согласно ГОСТ Р ИСО 5725-1 [6] **правильность** - степень близости среднего значения, полученного на основании большой серии результатов измерений (или результатов испытаний) к принятому опорному значению; **точность** - степень близости результата измерений к принятому опорному значению. При этом в качестве опорных при обработке результатов взяты значения концентраций имитаторов продуктов изнашивания, заданные ООО «Диагностические технологии» в стандартных образцах, использовавшихся при проведении испытаний спектрометров. Сводные результаты расчёта правильности (точности) обобщены и представлены на рис. 4, 5.

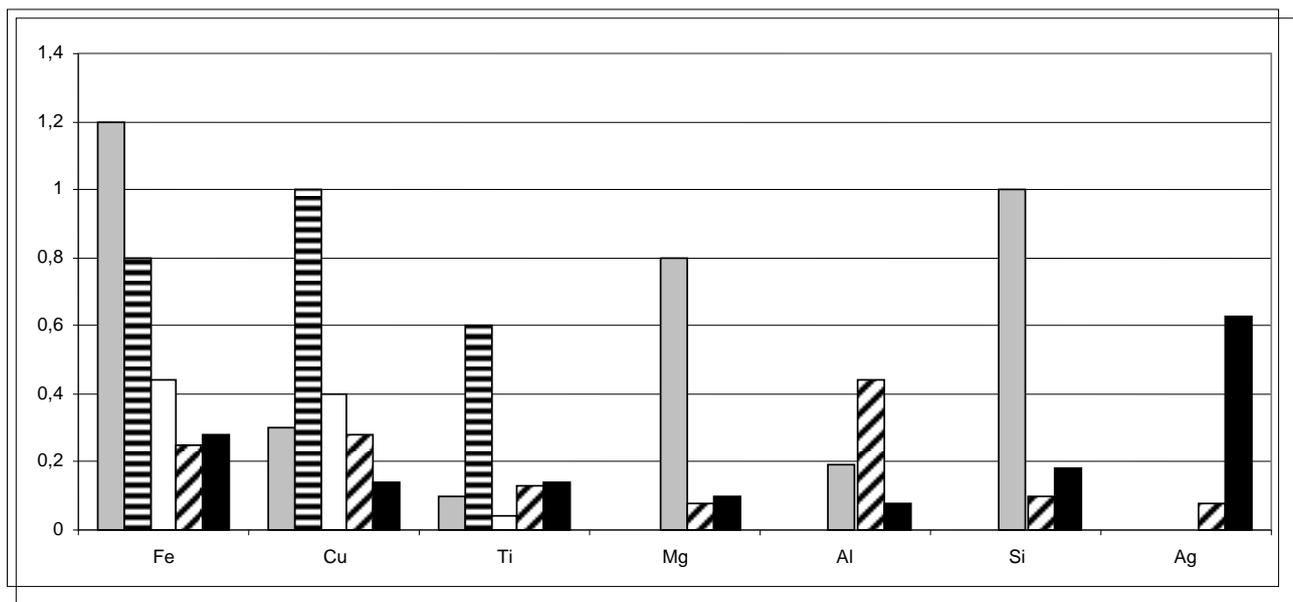


Рис. 4. Однокомпонентные СОП на фильтрах Владипор (правильность - точность): по оси ординат - концентрация, г/т; по оси абсцисс – химические элементы и типы спектрометров (аналогично рис. 2)

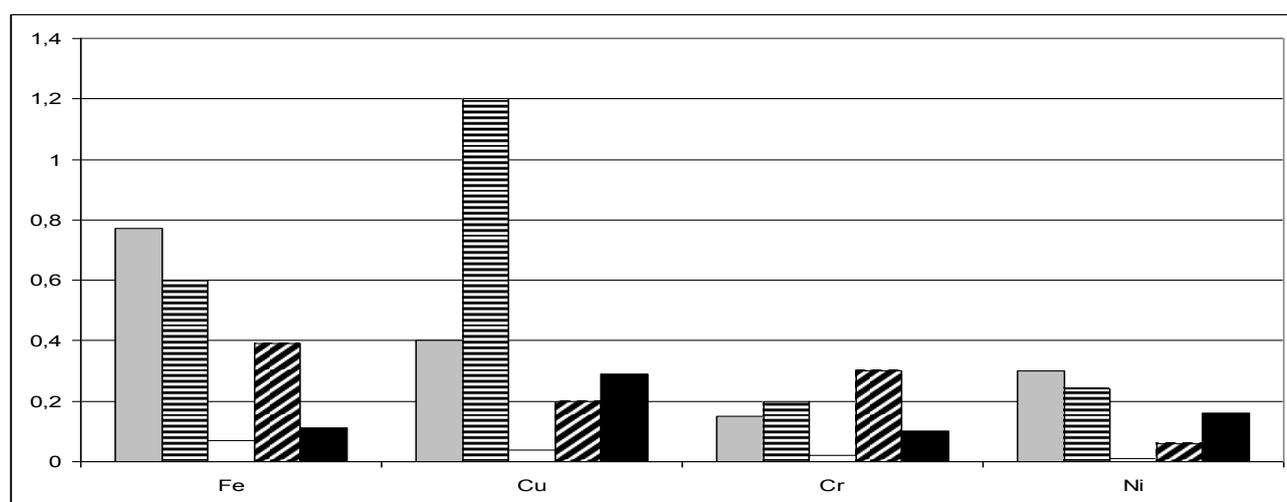


Рис. 5. Четырехкомпонентные СОП на фильтрах Владипор (правильность - точность): по оси ординат - концентрация, г/т; по оси абсцисс – химические элементы и типы спектрометров (аналогично рис. 2)

Основные результаты и выводы

1. Разработаны методические подходы к вопросам метрологического обеспечения межведомственных (сличительных) испытаний спектрометров для трибодиагностики.

2. В процессе проведения испытаний исследованы и определены для спектрометров БРА-18, Спектроскан МАКС-G, Спектроскан МАКС-GV, АДК «Призма», X-Арт М числовые значения следующих метрологических характеристик:

а) предел обнаружения химических элементов;

б) повторяемость (сходимость) результатов измерений для различных химических элементов на различных концентрациях;

в) правильность (точность) результатов измерений для различных химических элементов на различных концентрациях.

3. Для внедрения технологий анализа жидких проб масел, которые могут быть реализованы из принимавших участие в испытаниях только на спектрометрах БРА-18 и X-Арт-М, необходимо проведение дополнительных исследований с целью установления допустимых и предельных норм концентраций продуктов изнашивания. При этом для соблюдения положений ГОСТ Р 8.563 [15] и ОСТ 54-3-154.82 [16] при измерении на спектрометрах концентрации продуктов изнашивания в жидких пробах работающих авиационных масел имеется необходимость проведения работ по аттестации методик измерений и их документальному оформлению отдельно для каждого из типов спектрометров, обладающих такого рода возможностями.

4. Спектрометры БРА-18, Спектроскан МАКС-G, Спектроскан МАКС-GV и АДК "Призма" уже применяются на предприятиях ВТ для решения задач трибодиагностики. При этом внедрение спектрометров X-Арт-М возможно только после проведения ведомственных испытаний (сертификации) в соответствии с РД 54-005-027 [18], получения по их результатам сертификата соответствия в Системе сертификации объектов ГА (СДС ОГА) и регистрации в Перечне специальных средств измерений, применяемых на предприятиях ГА.

5. В части совершенствования технологии ФГУП «13 ГНИИ Минобороны России» по изготовлению СОП целесообразно:

5.1. Провести исследования и метрологическую аттестацию погрешностей значений концентраций, задаваемых в СОП.

5.2. Рассмотреть вопрос о корректировке технологии изготовления стандартных образцов на фильтрах путём увеличения объёма прокачиваемого масла с 15 мл до 25 мл с целью обеспечения представительности анализируемой пробы масла и повышения достоверности результатов измерений концентрации продуктов изнашивания.

6. Проведённый в процессе межведомственных испытаний анализ состояния метрологического обеспечения средств и методов трибодиагностики в целом показал его соответствие требованиям государственной и отраслевой систем обеспечения единства измерений.

7. Полученные по результатам испытаний значения метрологических характеристик спектрометров БРА-18, Спектроскан МАКС-G, Спектроскан МАКС-GV и АДК «Призма» при анализе масел на фильтрах обеспечивают достоверность результатов трибодиагностики при действующих нормах концентрации продуктов изнашивания в работающих маслах (как допускаемых, так и предельных).

ЛИТЕРАТУРА

1. Богоявленский А.А. Метрологическое обеспечение сличительных испытаний средств диагностирования авиационных ГТД по продуктам изнашивания в работающих маслах // Сб. докл. Международной науч.-техн. конф. "Интеллектуальные системы измерений, контроля, управления и диспетчеризации в промышленности". М.: Компания ITE; МАИ. 2014. С. 89-97.

2. ГОСТ 8.315-97. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения.
3. ОСТ 54-3-155.83-2002. Отраслевая система обеспечения единства измерений (ОСОЕИ). Стандартные образцы. Основные положения.
4. **Богоявленский А.А.** Технологии изготовления и метрологической аттестации стандартных образцов концентрации продуктов изнашивания в работающих маслах. // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 199 (1). С. 134-139.
5. **Матюхин К.Е., Богоявленский А.А.** Технологии изготовления и метрологической аттестации стандартных образцов при диагностировании авиационных ГТД по продуктам изнашивания в маслах. // Сб. докл. Всероссийской научн.-техн. конф. "Метрологическое обеспечение испытаний и измерений в авиационно-космической промышленности". М.: ЦАГИ; Компания ITE, 2013. С. 190-198.
6. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. I. Основные положения и определения.
7. **Богоявленский А.А., Ермолаева О.Л.** Метрологическое обеспечение работ по неразрушающему контролю и диагностированию авиационной техники // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 175 (1). С. 154-157.
8. РМГ 63-2003. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.
9. ОСТ 54-3-156.66-94. ОСОЕИ. Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации.
10. ГОСТ 2.601-2006. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Эксплуатационные документы.
11. ГОСТ 2.610-2006. ЕСКД. Правила выполнения эксплуатационных документов.
12. РМГ 51-2002. ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения.
13. Р РСК 002-2006. Основные требования к методикам калибровки, применяемым в Российской системе калибровки.
14. ГОСТ 8.654-2009. ГСИ. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения.
15. ГОСТ Р 8.563-2009. ГСИ. Методики (методы) измерений.
16. ОСТ 54-3-154.82-2002. ОСОЕИ. Методики выполнения измерений. Порядок проведения аттестации.
17. РМГ 29-99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
18. РД 54-005-027-89. ОСОЕИ. Нестандартизованные средства измерений. Порядок разработки, изготовления, испытаний и аттестации.

THE ISSUES OF ENSURING THE UNIFORMITY OF MEASUREMENTS WHEN CONDUCTING THE INTERAGENCY TESTING SPECTROMETERS FOR TRIBODIAGNOSTICS GTE

Bogoyavlenskiy A.A.

The article is devoted to the organization of ensuring problem how to obtain the uniformity of measurements at interagency testing of new generation of tribodiagnosics of aircraft GTE on the example of the x-ray spectrum analyzers. The article provides a synthesis of the obtained in testing results of measuring the concentration of products of wear process taking place in working oils, as well as recommendations and conclusions.

Keywords: aircraft GTE, the unity of measurements, the concentration of products of wear process, comparison tests, tribodiagnosics.

REFERENCES

1. **Bogoyavlenskiy A.A.** *Metrologicheskoe obespechenie slichitel'nykh ispytaniy sredstv diagnostirovaniya aviacionnykh GTD po produktam iznashivaniya v rabotayushhikh maslakh. Sb. dokl. Mezhdunarodnoy nauchn.-tekhn. konf. "Intellektual'nye sistemy izmereniy, kontrolya, upravleniya i dispetcherizatsii v promyshlennosti".* М.: Компания ITE; МАИ. 2014. Pp. 89-97. (In Russian).
2. *GOST 8.315-97. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy (GSI). Standartnye obrazcy sostava i svoystv veshhestv i materialov. Osnovnye polozheniya.* (In Russian).
3. *OST 54-3-155.83-2002. Otrasleyaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy (OSOEI). Standartnye obraztsy. Osnovnye polozheniya.* (In Russian).
4. **Bogoyavlenskiy A.A.** *Tekhnologii izgotovleniya i metrologicheskoy attestatsii standartnykh obraztsov kontsentratsii produktov iznashivaniya v rabotayushhikh maslakh. Nauchnyy vestnik MGTU GA.* 2014. № 199. Pp. 134-139. (In Russian).

5. **Matyukhin K.E., Bogoyavlenskiy A.A.** Tehnologii izgotovleniya i metrologicheskoy attestatsii standartnykh obraztsov pri diagnostirovaniy aviacionnykh GTD po produktam iznashivaniya v maslakh. *Sb. dokl. Vserossiyskoy nauchn.-tekh. konf. "Metrologicheskoe obespechenie ispytaniy i izmereniy v aviatsionno-kosmicheskoy promyshlennosti"*. M.: CAGI; Kompaniya ITE, 2013. Pp. 190-198. (In Russian).
6. *GOST R ISO 5725-1-2002. Tochnost' (pravil'nost' i pretsizionnost') metodov i rezul'tatov izmereniy. Chast' I. Osnovnye polozheniya i opredeleniya.* (In Russian).
7. **Bogoyavlenskiy A.A., Ermolaeva O.L.** Metrologicheskoe obespechenie rabot po nerazrushayushhemu kontrolyu i diagnostirovaniyu aviatsionnoy tekhniki. *Nauchnyy vestnik MGTU GA*. 2012. № 175. Pp. 154-157. (In Russian).
8. *RMG 63-2003. GSI. Obespechenie effektivnosti izmereniy pri upravlenii tekhnologicheskimi protsessami. Metrologicheskaya ekspertiza tekhnicheskoy dokumentatsii.* (In Russian).
9. *OST 54-3-156.66-94. OSOEI. Metrologicheskaya ekspertiza normativnoy i tekhnicheskoy dokumentatsii.* (In Russian).
10. *GOST 2.601-2006. Edinaya sistema konstruktorskoy dokumentatsii (ESKD). Eksploatatsionnye dokumenty.* (In Russian).
11. *GOST 2.610-2006. ESKD. Pravila vypolneniya ekspluatatsionnykh dokumentov.* (In Russian).
12. *RMG 51-2002. GSI. Dokumenty na metodiki poverki sredstv izmereniy. Osnovnye polozheniya.* (In Russian).
13. *R RSK 002-2006. Osnovnye trebovaniya k metodikam kalibrovki, primenyaemym v Rossiiskoi sisteme ka-librovki.* (In Russian).
14. *GOST 8.654-2009. GSI. Trebovaniya k programmnomu obespecheniyu sredstv izmerenii. Osnovnye polozheniya.* (In Russian).
15. *GOST R 8.563-2009. GSI. Metodiki (metody) izmereniy.* (In Russian).
16. *OST 54-3-154.82-2002. OSOEI. Metodiki vypolneniya izmereniy. Poryadok provedeniya attestatsii.* (In Russian).
17. *RMG 29-99. GSI. Metrologiya. Osnovnye terminy i opredeleniya.* (In Russian).
18. *RD 54-005-027-89. OSOEI. Nestandartizovannyye sredstva izmereniy. Poryadok razrabotki, izgotovleniya, ispytaniy i attestatsii.* (In Russian).

Сведения об авторе

Богоявленский Анатолий Александрович, 1958 г.р., окончил МИИГА (1981), кандидат технических наук, главный метролог ФГУП ГосНИИ ГА – начальник отдела метрологии, член-корреспондент Метрологической академии, автор более 90 научных работ, область научных интересов – исследование законодательных и прикладных проблем метрологического обеспечения производственной деятельности ГА.