

УДК 656.7:389.63: 389.14: 006.354

АТТЕСТАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

А.А. БОГОЯВЛЕНСКИЙ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Гипичем Г.Н.

В статье проведен анализ организации и методологии проведения работ по аттестации испытательного оборудования узлов и агрегатов авиационной техники в организациях по ремонту на воздушном транспорте, выполняемых специалистами Головной организации метрологической службы гражданской авиации – ФГУП ГосНИИ ГА.

Ключевые слова: воздушный транспорт, авиационная техника, испытательное оборудование, аттестация.

Организация работ по аттестации испытательного оборудования

Основные положения по организации проведения работ по аттестации испытательного оборудования (ИО) изложены в национальном стандарте ГОСТ Р 8.568-97 [1].

Аттестация ИО проводится с целью определения нормированных точностных характеристик оборудования, их соответствия требованиям нормативной документации и установления пригодности оборудования к эксплуатации.

К нормированным точностным (метрологическим) характеристикам ИО относятся установленные нормативными документами (НД) характеристики, определяющие возможности оборудования воспроизводить и поддерживать режимы и условия испытаний в заданных диапазонах с требуемой точностью и стабильностью в течение установленного срока.

В развитие ГОСТ Р 8.568-97 [1] согласно Распоряжения МТ РФ от 13.11.2000 г. № 71-р [2] под руководством и при участии автора был разработан стандарт отрасли ОСТ 54-3-1572.80-2001 [3].

В организациях по ремонту авиационной техники в ГА РФ аттестации подлежат ИО, точностные (метрологические) характеристики измерительных каналов которого определяются несколькими составляющими или применяются косвенные методы измерений, а также применяющиеся в условиях, отличающихся от заданных в эксплуатационной документации.

Не подлежат аттестации ИО (стенды), оснащённые:

- 1) штатными средствами измерений, прошедшими государственные или ведомственные испытания и эксплуатирующимися в условиях, соответствующих заданным в НД;
- 2) бортовыми средствами контроля, предназначенными для установки на ВС и проходящими обслуживание согласно регламента.

Примером такого рода является, например, ИО при испытаниях на герметичность.

В этом случае штатные средства измерений должны иметь действующую отметку о прохождении метрологического обслуживания (поверки или калибровки) в соответствии с распространяющимися на них методиками.

Организация проведения аттестации ИО возлагается на руководителей метрологических служб предприятий ГА, а при отсутствии метрологической службы – на ответственного за метрологическое обеспечение по предприятию с участием руководителей (специалистов) ОГТ и структурных подразделений, эксплуатирующих ИО. При этом аттестация должна проводиться специалистами, имеющими удостоверение о прохождении обучения по специализации "аттестация испытательного оборудования" на базе Головной организации метрологической службы ГА – ФГУП ГосНИИ ГА, имеющего соответствующую лицензию (аккредитацию) или учебных заведений Росстандарта. При необходимости для выполнения работ по аттестации сложного испытательного оборудования привлекаются специалисты ФГУП ГосНИИ ГА [2; 3].

Особое внимание при проведении аттестации ИО должно быть обращено на состояние и ведение эксплуатационной документации, которая должна отвечать ГОСТ 2. 601-2006 [4] и с

положительными результатами пройти метрологическую экспертизу в соответствии с требованиями ОСТ 54-3-156.66-94 [5]. Следует обеспечить проверку раздела "Комплектность" формуляров (паспортов) на ИО, в процессе которой сверяются диапазоны измерений, погрешности (классы точности), типы и заводские номера фактически установленных на ИО штатных средств измерений и бортовых средств контроля с внесенными в паспорта (формуляры) на ИО. Следует также оценить обеспечение запаса по точности при проведении испытаний с использованием данного типа (экземпляра) ИО.

Кроме этого, при проведении экспертизы дополнительно рассматриваются методики проведения испытаний, изложенные в руководствах по ремонту, технологических или производственных инструкциях в части требований к допускаемым значениям параметров испытаний, измеряемых (или задаваемых) при использовании данного типа (экземпляра) ИО. Проверяется также наличие формуляров на бортовые средства контроля из комплекта ИО и наличие отметок в них о проведении работ в объеме регламентов технического обслуживания. Метрологическая экспертиза эксплуатационной документации на ИО (в том числе формуляров) должна проводиться не реже одного раза в три года.

С 1982 г. по настоящее время ГосНИИ ГА (отдел метрологии) выполняет работы по аттестации ИО, в том числе используемого при проведении ресурсных испытаний узлов и агрегатов АТ [6-9]; институтом проведена аттестация около 200 единиц испытательного оборудования.

Наиболее важными для предприятий ВТ из проводимых институтом работ по испытательному оборудованию узлов и агрегатов АТ является аттестация стендов для:

- испытаний г/демпфера втулки несущего винта (ВНВ) вертолетов Ми-2, Ми-8;
- обкатки хвостовой трансмиссии вертолетов Ми-2, Ми-8;
- испытаний электрических механизмов (для стендов, оснащенных электротормозом);
- испытаний элементов систем управления (подъемников предкрылков, закрылков; стабилизаторов; подкосов подъемников);
- ресурсных испытаний узлов, агрегатов и элементов конструкции ВС,
- климатических камер (тепла и холода), вибростендов и другие виды ИО.

Требования к программному обеспечению испытательного оборудования

В настоящее время технологические процессы ремонта узлов и агрегатов АТ на предприятиях ВТ оснащаются современным испытательным оборудованием, функционирование которого невозможно без применения встроенного, либо автономного программного обеспечения (ПО). При этом разработчиками ПО не всегда учитывается необходимость исключения случаев преднамеренного или непреднамеренного изменения заложенных алгоритмов, а также ряд других присущих ПО специфических факторов. Данное обстоятельство может привести к снижению достоверности результатов испытаний АТ.

С целью выполнения на ВТ положений Федерального закона от 18.06.2008 г. № 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений", а также ГОСТ Р 8.654-2009 [10] на базе метрологической службы ФГУП ГосНИИ ГА создана испытательная лаборатория ПО средств измерений и информационно-измерительных систем.

Полномочия испытательной лаборатории подтверждены Аттестатом от 05.06.2012 г. № 0047-033, выданным в Системе добровольной сертификации от 02.05.2012 г. № РОСС.RU.И921.04ФДЦО программного обеспечения и аппаратно-программных комплексов. При этом область полномочий ГосНИИ ГА в части испытаний ПО, помимо прочего, включает в себя программное обеспечение испытательного и технологического оборудования, а также автоматизированных систем контроля технологическими процессами производства, испытаний и ремонта АТ, функционирующих с применением средств измерений или элементов измерительных систем.

Кроме того, ГосНИИ ГА разработана и внедрена в практику Система добровольной сертификации от 19 марта 2007 г. № РОСС RU.V402.04ЦА00 объектов ГА (СДС ОГА). Система является полностью самостоятельной и не входит в другие системы сертификации. Правила функционирования Системы разработаны в соответствии со ст. 21 ФЗ "О техническом регулировании".

Изменением № 4 Правил функционирования СДС ОГА, зарегистрированными 11.05.2012 г. Росстандартом, в перечень документов Системы включено Положение о порядке проведения сертификации ПО средств измерений и информационно-измерительных систем, применяемых на ВТ. Аттестация, тестирование и сертификация ПО проводятся путем оценки его соответствия требованиям, установленным ГОСТ Р 8.654–2009 [10] и другими нормативными документами, действующими в СДС ОГА и СДС ПО и АПК.

К основным задачам, решаемым при аттестации (тестировании) ПО, относятся: 1) исследование влияния ПО на метрологические характеристики в рамках решения конкретной измерительной задачи или применения методики измерений – оценивание погрешностей обработки измерительной информации, вносимых ПО в общую погрешность результатов измерений; 2) оценка защищенности ПО от несанкционированного доступа к результатам измерений и влияющим на них данным; 3) идентификация и фиксация идентификационных признаков ПО.

При этом аттестованное (протестированное) ПО должно отвечать следующим требованиям:

– использование ПО не должно приводить к искажениям измерительной информации, т.е. ПО не должно оказывать влияние на метрологические характеристики или это воздействие должно быть минимальным или оцениваемым для дальнейшего исключения его влияния;

– должна быть обеспечена защита от преднамеренных и случайных изменений программного кода, измерительной информации, параметров, определяющих тип, и конструктивных параметров, внесенных в ПО;

– ПО должно содержать идентификационные признаки (данные);

– ПО, используемое в отдельных экземплярах испытательного оборудования данного типа, должно соответствовать характеристикам, установленным (документированным) при утверждении типа;

– должно иметься разделение и структурирование на метрологически значимые и незначимые части.

В процессе аттестации ПО должно быть выявлено наличие и определены значения таких составляющих, как:

1) погрешности результатов измерений, являющихся входными данными;

2) округления числовых значений на промежуточных этапах вычислений;

3) обрыв бесконечных рядов используемых при вычислении функций;

4) некорректный выбор и некорректная реализация выбранных алгоритмов вычислений;

5) погрешности, связанные с неадекватностью выбора модели, применяемой при реализации измерительной задачи.

Кроме того, ГосНИИ ГА в процессе проведения аттестации ПО [11] рассматривает целый ряд требований к структуре ПО, среди которых: разделение ПО на метрологически значимую и незначимую части, обмен данными между которыми должен проводиться через защищенный интерфейс; метрологически значимые части ПО должны предотвращать возможность проведения через них изменений, приводящих к искажению конечного результата; в структуре ПО должны быть предусмотрены необходимые меры, предотвращающие возможность влияния другого ПО, которое может привести к серьезным или недопустимым изменениям метрологически значимой части.

Специалистами ГосНИИ ГА для определения погрешности, вносимой ПО, применяется целый ряд методов [11], среди которых:

1) сравнительные испытания с применением эталонного ПО, а при его отсутствии – испытания с использованием моделей исходных данных, либо с применением метода генерации эталонных данных;

2) испытания на основе анализа данных, полученных при применении ПО и данных, полученных другими методами.

Методы оценки влияния ПО на метрологические характеристики выбираются с учетом возможных условий применения аттестуемого испытательного оборудования в каждом конкретном случае.

Некоторые результаты работ по аттестации

Стенд С-1467-74 для испытаний г/демпфера ВНВ вертолёта Ми-2 после ремонта на одном из АРЗ. До начала проведения экспериментальных исследований была разработана Программа первичной аттестации в соответствии с ОСТ 54-3-1572.80-2001 [3]. В Программе проведено нормирование предельно допускаемых значений погрешностей аттестуемых характеристик стенда, для чего разработан и обоснован специальный методический подход.

Нормирование предельно допускаемых значений погрешностей аттестуемых характеристик стенда С-1467-74 произведено исходя из показателей достоверности результатов испытаний. С учётом требований технологической и эксплуатационной документации к техническим характеристикам г/демпфера ВНВ вертолёта Ми-2 с использованием коэффициента точности (K_t) по ГОСТ РВ 20.57.304-98 были рассчитаны предельно допускаемые значения погрешностей аттестуемых характеристик стенда С-1467-74.

В соответствии с нормами ГОСТ РВ 20.57.304-98 для обеспечения нахождения величин аттестуемых характеристик в поле допуска с требуемой доверительной вероятностью.

Предельно допускаемые значения погрешностей ($\Delta_{don i}$) аттестуемых характеристик стенда С-2363-76 были рассчитаны по формуле

$$\Delta_{don i} = D_i / K_m i, \quad (1)$$

где D_i – поле допуска на аттестуемую характеристику стенда исходя из технологической и эксплуатационной документации; $K_m \geq 2,5$ – значение коэффициента точности, при котором обеспечивается достоверность результатов испытаний для статистической надёжности с доверительными границами $P_d=0,95$; при $K_m \geq 2$ обеспечивается достоверность результатов испытаний с $P_d=0,9$.

Полученные расчетным путем предельно допускаемые значения погрешностей аттестуемых характеристик стенда составили от 3 до 12 % (в зависимости от величин усилий на штоке г/демпфера).

Для проведения аттестации стенда С-1467-74 разработана и реализована на практике измерительная схема (рис. 1), позволяющая производить в процессе аттестации стенда одновременное измерение значений усилий датчиком С2Н-2-С3 из состава измерительного канала аттестуемого стенда и рабочим эталоном – динамометром образцовым ДОУ-3-20И.

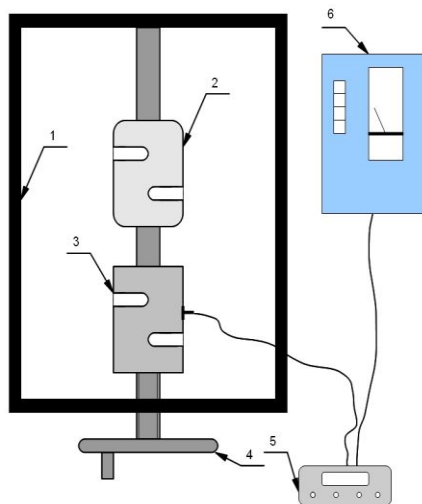


Рис. 1. Измерительная схема аттестации канала усилий стенда обкатки г/демпфера ВНВ вертолета Ми-2: 1 – силовая рама; 2 – тензодатчик С2Н-2-С3 из состава измерительного канала; 3 – датчик рабочего эталона (ДОУ-3-20И); 4 - задатчик усилий; 5 – указатель рабочего эталона; 6 – регистратор НЗ27-1

После проведения серии экспериментальных исследований в объеме Программы и их обработки было установлено, что фактически полученные значения погрешностей измерительного канала усилий на штоке г/демпфера С-1467-74 не превышают предельно допускаемых значений.

Стенд С-2363 для испытаний г/демпфера ВНВ вертолетов Ми-8 и их модификаций. На одном из российских АРЗ проведена модернизация испытательного стенда С-2363, особенностью которой явилось применение микроэлектронных датчиков давления для оценки усилий на штоке г/демпфера ВНВ и использование компьютерных технологий. Проведение модернизации потребовало проведения внеочередной аттестации стенда.

При разработке Программы аттестации ГосНИИ ГА был учтен тот факт, что использование микроэлектронных датчиков давления для оценки усилий на штоке г/демпфера базируется на формуле

$$R = P \cdot F, \quad (2)$$

где P – давление гидравлической жидкости в полости г/демпфера, кгс/см²; F – активная площадь поршня г/демпфера, см².

Принцип работы модернизированного стенда С-2363 заключается в следующем. При вращении эксцентрика стенда С-2363 в полостях испытываемого г/демпфера создается давление гидравлической жидкости. Величина давления регистрируется двумя микроэлектронными датчиками избыточного давления типа МИДА-ДИ-13П-В, обрабатывается и передается при помощи ПО в память компьютера. После распечатки осциллограммы (рис. 2) проводится ее анализ; то есть оценка усилий на штоке г/демпфера и их соответствия требованиям ремонтной и технологической документации. При реализации этой задачи используется ПО “USB DISco”, адаптированное к работе с датчиками МИДА-ДИ-13П-В. ПО обеспечивает вывод осциллограммы давления жидкости с её основными параметрами в нижней части экрана монитора (максимальные значения, период и др.) на экран монитора компьютера. При этом полученные результаты измерений в полной мере характеризуют работу г/демпфера в заданном режиме.

При проведении аттестации измерительного канала усилий стенда С-2363 была использована схема, представленная на рис. 3. В качестве образцового манометра 1 был использован грузопоршневой манометр МП-60 зав. № 1929 класса точности 0,05. Статистическая обработка полученных результатов измерений показала, что при задаваемых в процессе испытаний усилий от 100 до 1350 кгс относительная погрешность стенда находится в пределах от 1,4 до 2,1 % (для $R_d = 0,95$). Кроме этого, были исследованы и установлены погрешности измерений хода штока г/демпфера, частоты вращения оборотов эксцентрика, а также температуры рабочей жидкости.

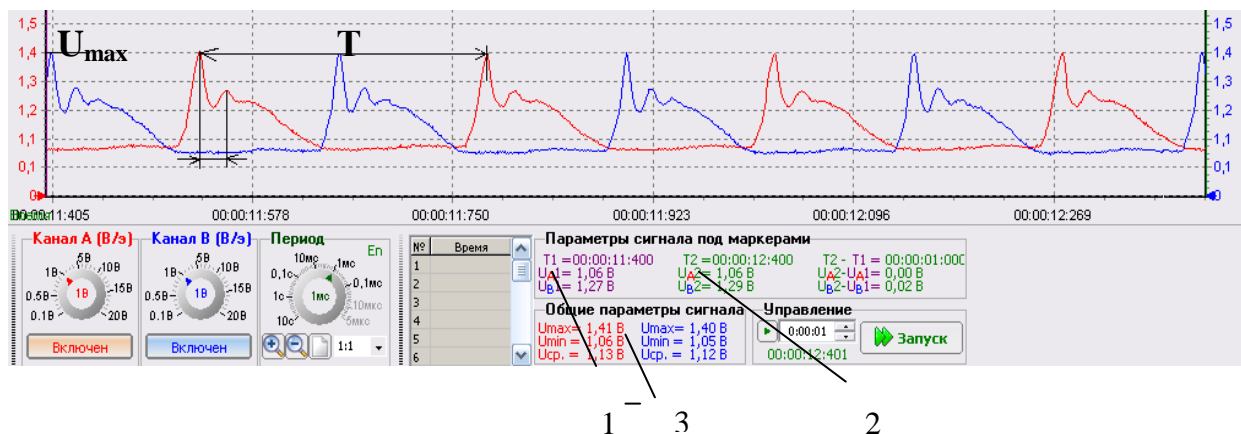


Рис. 2. Осциллограмма испытаний г/демпфера ВНВ Ми-8 на стенде С-2363 после модернизации: 1 – скорость вращения эксцентрика; 2 – усилия на штоке; 3 – люфты в стенде

В процессе проведения аттестации было рекомендовано произвести корректировку "Методики снятия характеристик демпфера ВНВ вертолетов разработки ОКБ "Миль" на стенде С-2363 на основе компьютерных технологий, используемой в качестве технологической ин-

струкции. Корректировка вызвана необходимостью замены назначенного в ней рабочего эталона – манометра образцового класса точности 0,4 на средство измерений более высокого класса точности, т.к. погрешность датчиков МИДА-ДИ-13П-В составляет $\pm 0,25$ ($\pm 0,5$ %), а манометр с сопоставимой по значению величиной погрешности измерений не обеспечивает достоверность передачи единиц физической величины избыточного давления от государственного эталона к рабочим средствам измерений с учетом коэффициентов точности (запаса по точности).

Рекомендовано также приобрести новый рабочий эталон (манометр) с погрешностью не хуже, чем у использовавшегося при аттестации исправного, но физически устаревшего грузопоршневого манометра МП-60, позволяющий задавать и измерять требуемые значения избыточного значения.

Стенд С-2363 (прошедший модернизацию) отвечает требованиям ГОСТ Р 8.568-97 [1] и ОСТ 54-3-1572.80-2001 [3]. Проведенное ГосНИИ ГА тестирование ПО USB-disco (подпрограмма "Самописец") проведено путем задания эталонных сигналов при проверке измерительных каналов по ходам и усилиям. Тестирование показало, что ПО не оказывает влияния на результаты задания (поддержания) режимов испытаний и может быть применено на стенде С-2363 при испытаниях и обкатке г/демпфера ВНВ вертолётов Ми-8 и их модификаций. Применяемое на стенде ПО "USB DISco" [версия 191.1 (00/00/00), используются модули "осциллограф" и "самописец"], адаптированное к работе с датчиками МИДА-ДИ-13П-В соответствует требованиям ГОСТ Р 8.654-2009 [10].

Стенд С-2363-76 (прошедший модернизацию) может применяться для проведения испытаний г/демпфера ВНВ вертолётов Ми-8 и модификаций после их ремонта. Периодическая аттестация стенда С-2363 должна проводиться с интервалом один раз в два года в соответствии с порядком и в объёме, регламентированными разработанной ГосНИИ ГА Программой периодической аттестации.

Стенд Т6365-0536 предназначен для испытаний и обкатки хвостовой трансмиссии вертолёт Ми-8 и его модификаций. ПО стенда прошло тестирование в рамках проведения ГосНИИ ГА работ по аттестации названного стенда на одном из АРЗ.

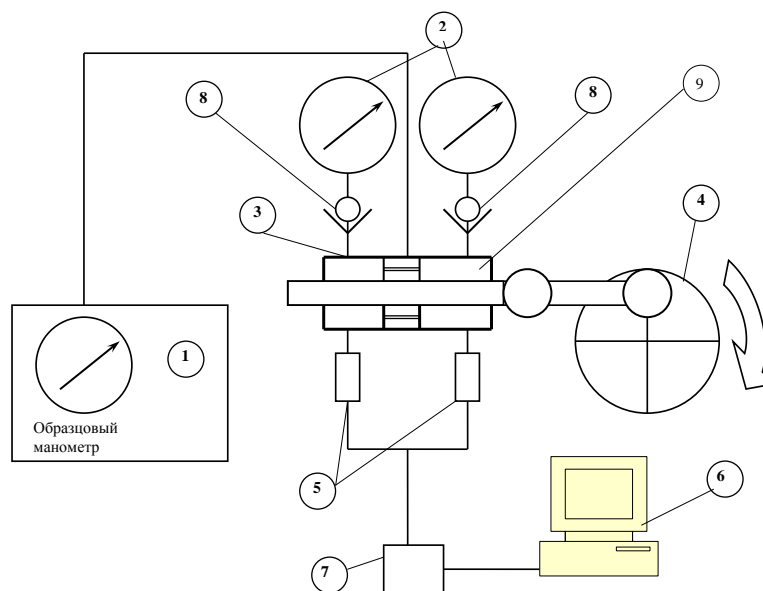


Рис. 3. Схема аттестации измерительного канала усилий модернизированного стенда С-2363: 1 – образцовый манометр; 2 – контрольные манометры; 3, 9 – г/демпфер; 4 – эксцентрик стенда; 5 – датчики МИДА-ДИ-13П-В; 6 – компьютер; 7 – согласующее устройство; 8 – обратные клапаны

ГосНИИ ГА провел работы по тестированию ПО, поставляемого с датчиком измерителя крутящего момента М40-2К и блока Т-40, предназначенных для измерения крутящего момента на ведомом валу хвостового редуктора и частоты его вращения.

ПО разработано ООО "Тилком" (Республика Беларусь), по классификации ГОСТ Р 8.654 [10] относится к категории встроенного и работает только в комплекте с измерительным блоком Т-40 и датчиком М40-2К. При этом тестирование ПО показало следующее:

- различие в результатах измерений одного и того же значения крутящего момента, полученных по показаниям блока Т-40 и компьютера, сопряжённого с датчиком М40-2К, превышает $\pm 3\%$, т.е. больше погрешности измерений самого датчика, что является неприемлемым с точки зрения соблюдения требований технологической документации;

- интервал времени (дискретность), через которое производится запись результатов измерений в электронную базу данных компьютера, сопряжённого с датчиком М40-2К, жестко задан разработчиком, является недостаточным и требует изменения в сторону увеличения дискретности, так как она не соответствует требованиям технологической документации по испытаниям.

С учетом изложенного ПО, разработанное ООО "Тилком", не может применяться при испытаниях и обкатке хвостовой трансмиссии на стенде Т6365-0536. В Протоколе первичной аттестации стенда по результатам проведенного тестирования ПО было дано предписание о проведении измерений контролируемых величин в ручном режиме (по указателю блока Т-40), а также запрете применения ПО. При этом сам стенд прошел аттестацию с положительными результатами – фактически полученные значения погрешностей аттестуемых характеристик не превысили допустимых значений.

Выводы

1. ГосНИИ ГА является уполномоченной организацией в области проведения работ по аттестации испытательного оборудования на ВТ [2; 3].

2. В развитие национального стандарта ГОСТ Р 8.568 [1] согласно Распоряжения МТ РФ от 13.11.2000 г. № 71-р [2] под руководством и при непосредственном участии автора разработан, введен в действие и успешно применяется в авиационной деятельности стандарт отрасли ОСТ 54-3-1572.80 [3]. В стандарте учтены специфические особенности по аттестации испытательного оборудования применительно к авиационной технике.

3. Разработаны теоретические и методические основы решения задач по аттестации испытательного оборудования узлов и агрегатов АТ (в том числе стендов ресурсных испытаний АТ), внедренные в практику организаций ВТ, исследованы и нормированы метрологические характеристики измерительных каналов испытательного оборудования.

4. Разработаны методы проведения аттестации (тестирования) программного обеспечения (ПО), участвующего в работе современного испытательного оборудования АТ, позволяющие выявлять наличие и производить оценку числовых значений погрешностей, вносимых ПО в результаты измерений и испытаний. Методы успешно апробированы и нашли применение при аттестации испытательного оборудования АТ.

5. Выявлены возможности для повышения качества и эффективности оказания авиационно-транспортных услуг за счет проведения работ по аттестации испытательного оборудования АТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ Р 8.568-97.** Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.

2. О внедрении в организациях гражданской авиации государственного стандарта "Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения": распоряжение Минтранса РФ от 13.11.2000 г. № 71-р.

3. **ОСТ 54-3-1572.80-2001.** Отраслевая система обеспечения единства измерений (ОСОЕИ). Аттестация испытательного оборудования. Порядок проведения.

4. **ГОСТ 2.601-2006.** Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

5. **ОСТ 54-3-156.66-94. ОСОЕИ.** Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации. Организация и порядок проведения.

6. Богоявленский А.А. Опыт проведения метрологической аттестации испытательного оборудования // Повышение роли стандартизации и метрологии в обеспечении интенсификации общественного производства: тез. докл. всесоюзной науч.-техн. конф. - Львов: ВНИИМИУС, 1985. - С. 88.

7. Юрскова Н.А., Ястребцов Л.М., Богоявленский А.А., Ардеев Ю.Ж. Состояние метрологического обеспечения ремонта авиационной техники // Состояние метрологического обеспечения разработки, испытаний, эксплуатации и ремонта авиационной техники: тез. докл. всесоюзной науч.-техн. конф. - М.: ГосНИИ ГА, 1987. - С. 14-15.

8. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Об организации и проведении работ по аттестации испытательного оборудования и программного обеспечения при испытаниях узлов и агрегатов авиационной техники // Метрологическое обеспечение испытаний и измерений в авиационно-космической промышленности: сб. докл. всероссийской науч.-техн. конф. - М.: Компания ИТЕ - ФГУП ЦАГИ, 2013. - С. 214-225.

9. Богоявленский А.А., Ермолаева О.Л. Об организации и проведении работ по обеспечению единства измерений на воздушном транспорте // Научный Вестник ГосНИИ ГА. - 2012. - № 2 (313). - С. 24-29.

10. ГОСТ Р 8.654–2009. ГСИ. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения.

11. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Аттестация программного обеспечения специальных СИ на воздушном транспорте // Мир измерений. - 2012. - № 11. - С. 14-22.

CERTIFICATION OF TESTING EQUIPMENT OF THE COMPONENTS AND UNITS OF AVIATION EQUIPMENT

Bogoyavlenskiy A.A.

The article sets analysis of the state organization and carrying out works on certification of testing equipment and software at tests of the components and units of aviation equipment in the organizations on repair of air transport performed by the Parent organization of the metrological service civil aviation – FSUE State scientific and research institute of civil aviation.

Key words: air transport, aviation equipment, test equipment, certification.

Сведения об авторе

Богоявленский Анатолий Александрович, 1958 г.р., окончил МИИГА (1981), главный метролог ФГУП ГосНИИ ГА, начальник отдела метрологии, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, автор более 80 научных работ, область научных интересов – исследование законодательных и прикладных проблем метрологического обеспечения производственной деятельности ГА.