

УДК 629.735.054.03:534.647, 656.7:389

АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.А. БОГОЯВЛЕНСКИЙ¹

¹Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации,
г. Москва, Россия

На основе системного подхода представлена структура направлений авиационной деятельности на воздушном транспорте, связанных с контролем и измерениями параметров вибрации, наблюдаемой на авиационной технике.

Проведен анализ технологий лабораторных проверок бортовой аппаратуры контроля параметров вибрации, исследованы и обобщены вопросы, связанные с обеспечением единства измерений параметров вибрации воздушных судов с газотурбинными двигателями.

В процессе выполнения описанных в статье работ по аттестации учтены метрологические риски, возникающие при производстве авиационной деятельности на воздушном транспорте. Разработаны методы проведения аттестации измерительных каналов параметров вибрации, применяемых на стендах испытательных станций при ремонте авиационных двигателей.

Методы внедрены при проведении первичных и периодических аттестаций испытательных стендов для двенадцати типов авиационных газотурбинных двигателей в организациях по ремонту. Достоверность результатов проведенных исследований обусловлена тем, что они проводились с применением аттестованного измерительного оборудования, внесенного в Государственный реестр средств измерений. Исследования проведены для достаточно высокого статистического уровня достоверности с границами 0,95.

Проведенные исследования показали, что выполняемые на воздушном транспорте измерения параметров вибрации метрологически обеспечены: поддерживается единство измерений и их прослеживаемость от государственного первичного эталона до специальных средств измерений, испытательного оборудования и бортовых средств контроля воздушных судов.

В статье содержатся нормы по контролю параметров вибрации, виды проверок, место их проведения, применяемое оборудование и инструментарий.

Ключевые слова: авиационная техника, воздушный транспорт, воздушное судно, газотурбинный двигатель, виброскорость, виброускорение, виброперемещение, метрологический риск, метрологическое обеспечение.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе летной эксплуатации воздушных судов (ВС) – как самолетов, так и вертолетов отечественного и зарубежного производства, оснащенных ГТД, – важнейшими контролируруемыми величинами являются параметры вибрации. На ВТ к основным контролируемым параметрам вибрации в полете относятся виброскорость (мм/с), виброускорение (мм/с²) или виброперегрузка (в единицах ускорения свободного падения g). Особую информативность они несут для самолетов с турбовинтовыми двигателями, а также вертолетов, на которых – из-за особенностей конструкции – вибрация значительно выше, чем на самолетах с турбореактивными двигателями.

Общие требования к контролю вибрации и допустимым ее уровням на все виды главных и вспомогательных ГТД ГА регламентированы в ГОСТ 26382 [1]. Требования установлены исходя из обеспечения достаточной прочности конструкции, виброустойчивости и вибропрочности агрегатов и оборудования, закрепленных на ГТД, при длительной работе во всем диапазоне частот вращения роторов и для всех режимов как при стендовых испытаниях, так и в условиях эксплуатации.

НОРМЫ ПО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ГТД

Нормирование вибрации двигателя проводится [1] по составляющим амплитудно-частотного спектра, возникающего в результате взаимодействия сложной механической систе-

мы ГТД, имеющей большое число собственных частот и форм колебаний, со случайно связанными между собой различными источниками возбуждения механического и газодинамического происхождения переменной интенсивности.

Интенсивность источника возбуждения и вибрационную напряженность ГТД и его элементов характеризуют частота и амплитуда каждой составляющей спектра. В зависимости от источников возбуждения нормируют отдельно вибрацию ГТД с частотой первой роторной гармоники и вибрацию с частотой, отличающейся от частоты первой роторной гармоники. К числу основных источников возбуждения вибрации ГТД с частотой первой роторной гармоники относят [1]: а) массовую неуравновешенность роторов двигателя; б) несоосность роторов, соединенных последовательно между собой; в) торцевые биения подшипников на цапфах роторов; г) аэродинамическую неуравновешенность рабочих ступеней роторов, преимущественно рабочих ступеней вентилятора; д) тепловой дисбаланс роторов, вызванный неравномерностью охлаждения остановленного ГТД.

Допустимые уровни вибрации ГТД установлены:

- в диапазоне частот вибрации от 20 до 2000 Гц;
- в каждом из трех ортогональных направлений – осевом (параллельно оси ГТД), поперечно-горизонтальном и вертикальном;
- на корпусах двигателя в плоскостях крепления узлов его подвесок на силовой установке ВС и в плоскостях расположения опор роторов, имеющих непосредственную силовую связь с корпусами ГТД.

На установившихся режимах максимальная амплитуда величин вибрации ГТД при предъявительских, периодических и типовых испытаниях, а также в эксплуатации при контроле в наземных условиях и в условиях полета ВС не должна превышать значений, указанных в таблице.

Таблица 1
Table 1

Допустимые значения частот вибрации ГТД
GTE vibration frequency allowable values

Диапазон частот вибрации двигателя f , Гц	Допустимая амплитуда		
	виброперемещения, м	виброскорости, м/с	виброускорения, м/с ²
От 20 до 72	$8,75 \cdot 10^{-3} \cdot 1/f$	$55 \cdot 10^{-3}$	$0,345 \cdot f$
От 72 до 100	$0,633 \cdot 1/f^2$	$3,97 \cdot 1/f$	25
От 100 до 637	$6,36 \cdot 10^{-3} \cdot 1/f$	$40 \cdot 10^{-3}$	$0,251 \cdot f$
От 637 до 2000	$4,053 \cdot 1/f^2$	$25,47 \cdot 1/f$	160

КОНТРОЛЬ ВИБРАЦИИ НА БОРТУ ВС

Для контроля вибрации авиационных ГТД в процессе летной эксплуатации на каждом типе ВС применяется бортовая аппаратура индивидуальной конструкции. Так, для вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций – это аппаратура ИВ-500А, самолетов Ил-76 – аппаратура ИВ-200МК, самолетов Ту-154М – ИВ-50П-А-3, сер. 2 и т. д.

Аппаратура ИВ-500А предназначена для контроля вибрации ГТД, а также сигнализации о возникновении уровня вибрации, превышающего допустимый. Напряжение от каждого из двух датчиков МВ-03 из комплекта ИВ-500А через согласующие устройства УсС-6 подается на электронный блок БЭ-9А, где усиливается до величины, необходимой для работы указателя сигнализации о достижении заданного опасного уровня, а также выдачи сигналов в систему автоматизированного контроля. Указатель вибрации представляет собой миллиамперметр магнитоэлектрической схемы, шкала которого отградуирована в процентах.

Диапазон измерений 0–100 %, оцифрованные отметки шкалы 0, 2, 4, 6, 8, 10, что соответствует виброскорости 0–100 мм/с. В аппаратуре предусмотрена световая сигнализация «повышенная вибрация двигателя», настроенная на срабатывания при уровне вибрации 50 % и сигнализация «опасная вибрация», настроенная на 65 %. Имеется также встроенный контроль, при включении которого срабатывает сигнализация и стрелка указателя отклоняется на отметку 60–100 %. Для таких систем основная относительная погрешность каналов контроля и срабатывания сигнализаторов на превышение допустимого уровня вибрации в нормальных условиях обычно находится в диапазоне $\pm 10\%$ от верхнего предела нормируемого значения контролируемой вибрации. При этом если на вертолетах Ми-8, Ми-17 на один ГТД установлено по одному датчику, то на самолетах, как правило, по два датчика: один на разделительном корпусе ГТД, второй – на его задней подвеске.

Для документальной регистрации контролируемых вибраций на борту ВС в полете работает параметрический бортовой накопитель – устройство для регистрации и накопления полетной информации в течение одного или нескольких полетов. Например, устанавливаемая на самолетах Ту-154М система МСРП-64М-2 регистрирует разовую команду «вибрация велика» двигателей № 1, 2, 3, поступающую со штатных датчиков МВ-04-1 системы ИВ-50П-А-3 (сер. 2) при выдаче сигнала повышенной вибрации любого из ГТД. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем для эксплуатационного контроля и при расследовании летных происшествий.

Таким образом, в процессе летной эксплуатации ВС на ВТ обеспечивается необходимый и достаточный контроль параметров вибрации [2–6].

НАЗЕМНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ПРОВЕРКИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

Для лабораторных проверок бортовой аппаратуры контроля вибрации ИВ-500А, ИВ-200МК, ИВ-50П-А-3 (сер. 2), ИВ-41 и других в организациях по ТО широко распространена такая аппаратура, как устройства наземного контроля типа УПИВ-П, УПИВ-У, УПИВ-200, УПИВ-300 и целый ряд им подобных. Все они относятся к категории специальных средств измерений (ССИ). В настоящее время по отечественному парку ВС наметилась положительная тенденция, связанная с заменой устаревших типов ССИ на более совершенные. Успешно применяются две отечественные разработки в части проверок бортовой аппаратуры контроля вибрации, изготовленные на основе современной элементной базы и с применением компьютерных технологий – это наземная автоматизированная система НАСКД-200 [7, 8] и контрольно-проверочный комплекс КПК-6.

Проверяемое оборудование подключается к КПК-6 с помощью соединительных жгутов. Управление процессом проверки оборудования осуществляется с помощью программного обеспечения, на основе которого оператору представляется пользовательский интерфейс и осуществляется управление аппаратной частью комплекса.

Пользовательский интерфейс позволяет: 1) вводить паспортные данные проверяемого оборудования, номер вертолета, данные о наработке; 2) управлять процессом проверки; 3) наглядно представлять измеренные параметры; 4) информировать оператора о недопустимых значениях параметров; 5) предлагать оператору возможные варианты устранения неисправности по признаку проявления дефекта, а также редактировать и добавлять новые признаки и дефекты; 6) по завершении проверки имеется возможность распечатать результаты проверки на бланке отчета установленной формы (оформить протокол испытаний); 7) сохранять результаты проверки и сведения об оборудовании в базе данных.

Аппаратная часть комплекса осуществляет измерение параметров проверяемого оборудования, формирование управляющих воздействий, необходимых для его проверки. Интерфейс монитора комплекса позволяет оперативно и наглядно контролировать ход тестирования. Номенклатура проверок и регулировок измерителя ИВ-500А, выполняемых на КПК-6, соответ-

ствуется регламенту технического обслуживания. Она включает в себя: 1) проверку градуировки каналов блока; 2) регулировку усиления каналов блоков аппаратуры; 3) проверку и регулировку срабатывания сигнализации блока; 4) проверку выходных напряжений блока и наличия емкости датчика; 5) регулировку встроенной системы контроля (ВСК) и проверку работоспособности по ВСК.

Устройства наземного контроля УПИВ-П, УПИВ-У, УПИВ-200, УПИВ-300 и подобные им являются компактными переносными устройствами, обеспечивающими проверку работоспособности бортовой аппаратуры контроля вибрации. Структурная схема, например, УПИВ-П включает в себя четыре функциональных блока [9]: генератор, блок проверки пьезодатчиков, блок измерения и индикации, а также блок питания. Блок генератора используется при проверке электронного блока бортовой аппаратуры ИВ-41, в нем имитируется сигнал пьезоэлектрического датчика аппаратуры. Блок проверки пьезодатчиков осуществляет проверку входящих в состав бортовой аппаратуры пьезоэлектрических датчиков вибрации. Заложенный в блоке проверки метод [9] основан на использовании обратного пьезоэлектрического эффекта. Если на датчик в течение определенного времени подавать электрическое напряжение, то это приведет к деформации его пьезоэлектрических пластин. После отключения воздействующего напряжения пьезоэлектрические пластины стремятся восстановить свою форму, при этом на их поверхности возникает электрический заряд, который после соответствующего преобразования используется как сигнал отклика датчика, свидетельствующий о работоспособности. Достоверность проверки повышается в случае периодического повторения подачи возбуждающих импульсов достаточной амплитуды через определенное время. Преобразование сигнала отклика датчика позволяет произвести с большой степенью вероятности исключение возможных случайных помех, усилить сигнал и выдать индикацию, характеризующую работоспособность датчика «исправен» или «не исправен». Контроль всех параметров (кроме частоты) производится в режиме измерения напряжения постоянного тока путем перевода аналогового сигнала в кодовый эквивалент, осуществляемого схемой с двойным интегрированием.

ВИБРАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ И АГРЕГАТОВ ВС ПОСЛЕ РЕМОНТА

Для испытаний на виброустойчивость авиационного оборудования (например, авиационных радиоконпасов АРК-9, радиостанций Р-842, радиовысотомеров РВ-3, РВ-5; гироскопических приборов) и агрегатов (например, гидравлического усилителя КАУ-30) в организациях по ремонту применяются стенды. Испытания проводятся при задании значений виброперемещений 0,15–0,4 мм в диапазонах частот 10–20; 60–80 и 250–300 Гц. Как испытательное оборудование они с положительными результатами должны пройти аттестацию с учетом положений ГОСТ Р 8.568 [10], директивы Авиационной администрации [11] и ОСТ 54-3-1572.80 [12].

При работе вибростенда механические колебания, преобразованные из вырабатываемых тарированным усилителем электрических колебаний, передаются испытываемому объекту, установленному и закрепленному на специальном кронштейне на вибростоле. Измерение размаха вибрации подвижной системы вибростола с испытываемым объектом на некоторых моделях стендов осуществляется спиральным окулярным микрометром ОМС-6 по так называемому измерительному ножу. Частота задающего низкочастотного генератора сигналов контролируется по частотомеру электронно-счетному. Устройство и принцип работы микрометра окулярного (оптического канала) при измерении величины размаха вибрации следующие. По истечении двух-трех минут после подключения питания к тарированному усилителю в окуляре ОМС-6 будет видна ярко освещенная полоса размыва, ширина которой характеризует величину размаха вибрации. При измерении полосы размыва двойная спираль окулярной головки микрометра наводится попеременно, то на один, то на другой край полосы размыва с таким расчетом, чтобы двойная спираль располагалась симметрично относительно границ края. Разность показаний при двух поло-

жениях двойной спирали по краям полосы размыва характеризует ее ширину, а следовательно, – размах колебаний. Так как в эту величину входит ширина риски ножа (7 мкм), то размах колебаний рассчитывается с учетом ее вычитания из результата измерений. При этом выполняется несколько измерений, и за результат принимается среднее арифметическое значение.

При приобретении вибростенда организацией по ремонту и подготовке объекта к испытаниям следует обращать особое внимание на массу испытываемых изделий вместе с установочными кронштейнами – она не должна превышать предельной величины для применяемого типа стенда. Автором при проведении инспекционных проверок организаций по ремонту на соответствие Федеральным авиационным правилам ФАП-145 было выявлено несколько такого рода случаев, что недопустимо, поскольку может привести к необеспечению условий режимов испытаний, регламентированных ремонтной документацией.

ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВЕРТОЛЕТОВ ПОСЛЕ РЕМОНТА

Вибрация при проведении испытательного полета вертолета после ремонта, помимо визуального контроля с помощью бортовой аппаратуры ИВ-500А, дополнительно контролируется по параметру виброускорения с применением нештатной аппаратуры, размещаемой в кабине. Такое требование включено в Программы летных испытаний вертолетов, разработанные ФГУП ГосНИИ ГА и введенные в действие Авиационной администрацией для организаций по ремонту. Программы разработаны отдельно для каждого типа вертолетов отечественного производства и содержат требования к нормам допускаемых значений параметров вибрации, а также характеристикам применяемой для этих целей аппаратуры.

В качестве рекомендуемой в Программах названа шестиканальная аппаратура ВИ-6-6ТН, обладающая повышенной чувствительностью, укомплектованная индуктивными датчиками ДУ-5С и позволяющая измерять параметры виброускорения в диапазоне 0,1–20 g. В основе работы аппаратуры заложен принцип амплитудной модуляции несущей частоты индуктивными датчиками, включенными по дифференцированной (полумостовой) схеме. Частотный диапазон работы ДУ-5С составляет от 0 до 200 Гц. Отклонение точек амплитудно-частотной характеристики от среднего уровня в указанном частотном диапазоне не превышает $\pm 5\%$ в диапазоне частот от 0 до 160 Гц и $\pm 12\%$ в диапазоне от 160 до 200 Гц. Температурный диапазон работы ДУ-5С составляет от -60 до $+60$ °С, что идеально подходит для применения при проведениях летных испытаний.

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГТД НА МОТОРИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ ПОСЛЕ РЕМОНТА

В начале данной статьи приведены сведения о ГОСТ 26382 [1], содержащем общие требования к контролю вибрации и допустимым ее уровням на все виды главных и вспомогательных ГТД, которыми руководствуются также и при проведении их стендовых испытаний. Измерения вибрации производятся в организациях по ремонту для подтверждения соответствия авиационных ГТД допустимым уровням с применением для этой цели измерительных каналов (ИК), входящих в комплект стенда. Каждый ИК состоит из нескольких компонентов. Например, в состав ИК виброперегрузок турбовинтового ГТД типа АИ-20 входят: 1) блок указателей вертикального и горизонтального направления, обеспечивающий поочередное измерение виброперегрузок роторных и винтовых гармоник ГТД в горизонтальном и вертикальном направлениях. Указатели на блоке отградуированы в единицах g; ИК имеют две полосовые частотные характеристики: $f = 202\text{--}208$ Гц обеспечивает измерение виброперегрузок по первой роторной гармонике; $f = 170\text{--}176$ Гц – в режиме малого газа; 2) датчики вибрации МВ-25В и МВ-25Г, соответственно, для измерения виброперегрузок в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Конструктивно датчики МВ-25В (Г) представляют собой стальной корпус, являющийся одновременно и магнитопроводом, внутри которого находится катушка с разделенной на две секции обмоткой. При этом для получения дополнительной информации при стендовых испытаниях количество датчиков вибрации, монтируемых на ГТД, как правило, на один больше, чем на двигателе в процессе летной эксплуатации ВС.

Для подтверждения возможности и достоверности результатов проводимых испытаний с учетом положений ГОСТ Р 8.568 [10], директивы Авиационной администрации [11], ОСТ 54-3-1572.80 [12], а также ОСТ 101021 [13], проводится комплексная аттестация стендов мотороиспытательных станций (МИС), которая включает в себя в том числе и аттестацию ИК вибрации. В развитие ОСТ 101021 [13] специалистами метрологической службы ФГУП ГосНИИ ГА разработаны методы проведения аттестации ИК вибрации стендов МИС ГТД в организациях по ремонту. Методы успешно применяются при проведении под руководством и при непосредственном участии автора первичных и периодических аттестаций МИС двигателей Д-30КУ, Д-30КУ-154, Д-30КП, АИ-20, АИ-24, ТВ2-117, ТВ3-117, АИ-9, РУ-19-А300, ТА-6 (6А), ТГ-12, ТГ-16 в отечественных организациях по ремонту.

При выборе элементов эталонного ИК параметров вибрации для исключения возникновения метрологических рисков [14] следует учитывать, что ИК должен иметь суммарную относительную погрешность измерений, обеспечивающую в соответствии с МИ 2070 [15] наличие запаса по точности относительно погрешности аттестуемого канала. Кроме того, для повышения достоверности аттестуемые характеристики исследуются и нормируются с доверительной вероятностью 0,95.

В основе метода аттестации ИК вибрации лежит определение погрешности путем сравнения результатов прямых измерений параметров вибрации по эталонному и аттестуемому ИК. Перед проведением аттестации проводятся подготовительные работы и внешний осмотр. При этом особое внимание обращается на состояние вибродатчиков: при наличии деформации корпусов и повреждений проводки они к аттестации не допускаются. Далее проверяется работоспособность ИК, эталонных и вспомогательных средств аттестации в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на них. Подготавливается и собирается схема соединений ИК, образцовых и вспомогательных средств измерений. На столе вибростенда монтируются переходные устройства с закрепленным рабочим и эталонным вибродатчиками. Аттестация ИК виброперегрузки – в соответствии с требованиями к техническим характеристикам ИК вибрации и нормированным уровням вибрации конкретного типа ГТД – проводится в точках, равномерно распределенных по всему рабочему диапазону.

При обработке экспериментальных данных по стандартизованным формулам рассчитываются значение погрешности измерений (ϵ) для доверительной вероятности 0,95. За нормируемую величину погрешности аттестуемого ИК параметров вибрации принимается максимальное значение. Суммарная погрешность измерений аттестуемого ИК виброскорости, виброускорения или виброперегрузки – в соответствии с требованиями ОСТ 101021 [13] – не должна превышать $\pm 12,0\%$ от верхнего предела для $P_d = 0,95$.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИИ

Бортовая аппаратура контроля вибраций ИВ-500А, ИВ-200МК, ИВ-50П-А-3 (сер. 2) и другая, устанавливаемая на борту ВС, не является средством измерений – ее обслуживание, согласно Воздушному Кодексу РФ, проводится в соответствии с регламентами технического обслуживания конкретных типов самолетов или вертолетов, разработанными конструкторскими организациями.

Специальные средства измерений (ССИ), такие как устройства наземного контроля типа УПИВ-У, УПИВ-П, УПИВ-200, УПИВ-300 и им подобные, не внесены в государственный реестр средств измерений, поскольку проходили испытания как изделия авиационной

техники совместно с типами ВС, для которых они разрабатывались. Видом метрологического обслуживания для них (вне сферы государственного регулирования), согласно Федеральному закону РФ от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ [16], является калибровка. Процедуры организации и проведения калибровки ССИ в метрологических службах предприятий ВТ описаны в [17, 18].

В методиках метрологического обслуживания как устройств наземного контроля типа УПИВ-У, УПИВ-П, УПИВ-200, УПИВ-300 и им подобных, так и КПК-6 и НАСКД-200 установлена периодичность его проведения с интервалом один год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе системного подхода представлена структура направлений авиационной деятельности на ВТ [19], связанных с контролем и измерениями параметров вибрации и проведен ее анализ; рассмотрены вопросы обеспечения единства измерений параметров вибрации.

2. В развитие стандарта ОСТ 101021 [13] специалистами метрологической службы ФГУП ГосНИИ ГА разработаны методы проведения аттестации ИК параметров вибрации стендов МИС ГТД в организациях по ремонту. Методы внедрены при проведении под руководством и при непосредственном участии автора первичных и периодических аттестаций стендов МИС таких ГТД, как Д-30КУ, Д-30КУ-154, Д-30КП, АИ-20, АИ-24, ТВ2-117, ТВ3-117, АИ-9, РУ-19-А300, ТА-6 (6А), ТГ-12, ТГ-16 в организациях по ремонту. При проведении работ по аттестации учитываются метрологические риски [14, 19], возникающие в авиационной деятельности на ВТ.

3. При проведении калибровки специальных средств измерений вибрации в метрологических службах предприятий ВТ для обеспечения связи с государственной поверочной схемой [15] – помимо индивидуальных методик под каждый тип ССИ – руководствуются ведомственной калибровочной схемой для средств измерений вибрации, разработанной ФГУП ГосНИИ ГА и утвержденной Авиационной администрацией.

4. Выполняемые на ВТ измерения параметров вибрации метрологически обеспечены [19]: поддерживается единство измерений и их прослеживаемость от государственного первичного эталона до специальных средств измерений, испытательного оборудования и бортовых средств контроля ВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 26382-84. Двигатели газотурбинные гражданской авиации. Допустимые уровни вибрации и общие требования к контролю вибрации. М.: Издательство стандартов, 1985.
2. ГОСТ 24346-80. Вибрация. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010.
3. Авиация. Энциклопедия. М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. 736 с.
4. ОСТ 102791-2010. Воздушные суда гражданской авиации. Документация по летной эксплуатации. Общие требования [Электронный ресурс]. URL: http://cals.ru/sites/default/files/downloads/ndocs/ost_1_02791-2010.pdf (дата обращения 16.02.2017).
5. ГОСТ Р 53863-2010. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011.
6. ГОСТ Р 55588-2013. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2014.
7. **Богоявленский А.А., Боков А.Е., Матюхин К.Е.** Метрологическое обеспечение эксплуатационных испытаний наземной автоматизированной системы контроля: методология и анализ результатов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 219 (9). С. 137–143.
8. **Богоявленский А.А., Боков А.Е.** Аттестация программного обеспечения специальных СИ на воздушном транспорте // Мир измерений. 2012. № 11. С. 14–22.

9. Устройство наземного контроля УПИВ-П. Руководство по технической эксплуатации 6Л2.763.023 РЭ.
10. ГОСТ Р 8.568-97. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2007.
11. 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.
12. ОСТ 54-3-1572.80-2001. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Порядок проведения.
13. ОСТ 101021-93. Стенды испытательные авиационных газотурбинных двигателей. Общие требования.
14. **Богоявленский А.А., Боков А.Е.** Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности // Мир измерений. 2013. № 10. С. 3–7.
15. МИ 2070-90. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений виброперемещения, виброскорости и виброускорения в диапазоне частот ($3 \cdot 10^{-1}$ – $2 \cdot 10^4$) Гц.
16. Федеральный закон от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/ (дата обращения 15.02.2017).
17. **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.
18. **Богоявленский А.А., Ермолаева О.Л.** Оценка технической компетентности калибровочных лабораторий специальных средств измерений // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2013. № 3 (314). С. 33–40.
19. **Богоявленский А.А.** Обеспечение единства измерений параметров вибрации при технической эксплуатации воздушных судов // Мир измерений. 2016. № 2. С. 6–14.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Богоявленский Анатолий Александрович, кандидат технических наук, член-корреспондент Метрологической Академии, главный метролог, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, bogoyavlenskiy_aa@ncplg.ru.

ANALYSIS OF METHODS PROVIDING ACCURACY FOR TOOLS AND TECHNIQUES VIBRATION MEASUREMENT IN THE PROCESS OF MAINTAINING AIRWORTHINESS OF AIRCRAFT

Anatoliy A. Bogoyavlenskiy¹

¹*The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

On the basis of system approach the structure of the aviation activity areas on air transport related to monitoring and measurements of vibration parameters is presented.

The technology analysis of laboratory tests of the onboard equipment control of vibration parameters is carried out. The issues related to ensuring the unity of measurements of vibration parameters are researched and summarized.

While dealing with the works on metrological certification described in the article, the risks arising from aviation activity on air transport are taken into account. The certification methods of measuring channels of vibration parameters used on stands for testing GTE at the repairing of aircraft engines are developed. The methods are implemented when conducting initial and periodic certifications of test benches for twelve types of aircraft GTE in repair organizations. The relia-

bility of the results of the conducted research due to the fact that they were carried out with the use of certified measurement equipment, included in the State register of measuring instruments. The research is conducted for a sufficiently high statistical confidence level with the boundaries 0.95.

The studies have shown that running on air transport measurements of vibration parameters are metrologically secured, the unity of measurements and their traceability from the national primary reference to special measuring instruments, test equipment, and onboard controls of the aircraft is maintained.

Key words: aviation engineering, air transport, aircraft, gas-turbine engine, vibration velocity, vibration acceleration, vibration displacement, metrological risks, metrological support.

REFERENCES

1. GOST 26382-84. *Dvigateli gazoturbinnyye grazhdanskoy aviatsii. Dopustimyye urovni vibratsii i obshchie trebovaniya k kontrolyu vibratsii* [Gas turbine engines of civil aviation. Permissible levels of vibration and general requirements for vibration control]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1985. (in Russian)
2. GOST 24346-80. *Vibratsiya. Terminy i opredeleniya* [Vibration. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. (in Russian)
3. Aviation. Encyclopedia. M., Great Russian Encyclopedia, 1994. 736 p. (in Russian)
4. OST 102791-2010. *Vozdushnyye suda grazhdanskoy aviatsii. Dokumentatsiya po letnoy eksploataatsii. Obshchie trebovaniya* [Aircraft Civil Aviation. Documentation flight manual. General requirements]. URL: http://cals.ru/sites/default/files/downloads/ndocs/ost_1_02791-2010.pdf (accessed 16.02.2017). (in Russian).
5. GOST R 53863-2010. *Vozdushnyy transport. Sistema tehnikeskogo obsluzhivaniya i remonta aviatsionnoy tekhniki. Terminy i opredeleniya* [Air transport. technical on-servicing and repair of aviation equipment system. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform, 2011. (in Russian)
6. GOST R 55588-2013. *Vozdushnyy transport. Sistema menedzhmenta bezopasnosti aviatsionnoy deyatel'nosti. Terminy i opredeleniya* [Air transport. safety management system of aviation activity. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform, 2014. (in Russian)
7. **Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E., Matyuhin K.E.** *Metrologicheskoe obespechenie eksploataatsionnykh ispytaniy nazemnoy avtomatizirovannoy sistemy kontrolya: metodologiya i analiz rezultatov* [Metrological support of operation testing of ground-based automated control system: the methodology and analysis of results]. *Nauchny Vestnik MGTU GA* [The Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2015, no. 219 (9), pp. 137–143. (in Russian)
8. **Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E.** *Attestatsiya programmnogo obespecheniya spetsialnykh SI na vozdukhnom transporte* [Certification software of providing special measurement systems on air transport]. *Mir izmereniy* [World of measurements], 2012, no. 11, pp. 14–22. (in Russian)
9. The device for revealing ground-P control. Guidelines for the technical operation 6L2.763.023 OM. (in Russian)
10. GOST R 8.568-97. *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Attestatsiya ispyitatelnogo oborudovaniya. Osnovnyye polozheniya* [State system for ensuring the uniformity of measurements. Certification testing equipment. The main provisions]. Moscow, Standartinform, 2007. (in Russian)
11. *O vnedrenii v organizatsiyah grazhdanskoy aviatsii gosudarstvennogo standarta Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Attestatsiya ispyitatelnogo oborudovaniya. Osnovnyye polozheniya* [On the implementation in the national standard of civil aviation organizations State system for ensuring the uniformity of measurements. Certification testing equipment. The main provisions]. *Rasporyazhenie Mintransa RF ot 13.11.2000 g. No. 71/r.* [Order of the RF Ministry of Transport on 13.11.2000, No. 71 / r] (in Russian)
12. OST 54-3-1572.80-2001. *Otraslevaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Attestatsiya ispyitatelnogo oborudovaniya. Poryadok provedeniya* [The branch system of ensuring the uniformity of measurements. Certification testing equipment. Order of conduct.]. (in Russian)

13. OST 101021-93. *Stendyi ispytatelnyie aviatsionnyih gazoturbinnnyih dvigateley. Obschie trebovaniya* [Test stands for aircraft gas turbine engines. General requirements]. (in Russian)

14. **Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E.** *Postanovka zadachi razrabotki metodov upravleniya metrologicheskimi riskami negativnyih situatsiy v aviatsionnoy deyatel'nosti* [Statement of the problem of the development of the metrological risk management methods of negative situations in aviation activities] *Mir izmereniy* [World of measurements], 2013, no. 10, pp. 3–7. (in Russian)

15. MI 2070-90. GSI. *Gosudarstvennaya poverochnaya shema dlya sredstv izmereniy vibroperemescheniya, vibroskorosti i vibrouskoreniya v diapazone chastot ($3 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 10^4$) Gts.* [State verification schedule for means of measuring vibration displacement, velocity and acceleration in the frequency range]. (in Russian)

16. *Federalnyiy zakon ot 26.06.2008 g. No. 102-FZ "Ob obespechenii edinstva izmereniy"* [The Federal Law of 26.06.2008 No. 102-FZ "On ensuring the uniformity of measurements."]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/ (accessed 16.02.2017). (in Russian)

17. **Bogoyavlenskiy A.A., Ermolaeva O.L.** *Ob organizatsii i provedenii rabot po obespecheniyu edinstva izmereniy na vozdushnom transporte* [About the organization and carrying out of works on maintenance of unity of measurements in air transport] *Nauchnyiy Vestnik GosNII GA* [Scientific Bulletin of Research Institute of Civil Aviation], 2012, no. 2 (313), pp. 24–29. (in Russian)

18. **Bogoyavlenskiy A.A., Ermolaeva O.L.** *Otsenka tehniceskoy kompetentnosti kalibrovочnyih laboratoriy spetsialnyih sredstv izmereniy* [Evaluation of the technical competence of calibration laboratories of special measuring instruments] *Nauchnyiy vestnik GosNII GA* [Scientific Bulletin of Research Institute of Civil Aviation], 2013, no. 3 (314), pp. 33–40. (in Russian)

19. **Bogoyavlenskiy A.A.** *Obespechenie edinstva izmereniy parametrov vibratsii pri tehniceskoy ekspluatatsii vozdushnyih sudov* [Ensuring uniformity of measurements of vibration parameters with the technical operation of aircraft] *Mir izmereniy*, 2016, no. 2, pp. 6–14. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Bogoyavlenskiy Anatoliy Alexandrovich, PhD, Corresponding Member of the Metrological Academy, Head Metrologist at the The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, bogoyavlenskiy_aa@ncplg.ru.