

УДК 629.735/.021+656.7

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-4-110-122

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ СЕРТИФИКАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЧАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Ю.А. ЯЛОЗА¹, А.Н. ПЕТРОВ¹

¹Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова, г. Жуковский, Россия

В статье рассмотрены основные проблемы и перспективы развития методов нормирования и оценки соответствия воздушных судов в отношении сертификации типовой конструкции по ее эксплуатационной технологичности. Актуальность указанных требований и методов связана с тем, что поддержание летной годности авиационной техники на стадии эксплуатации возможно только при сочетании обоснованного состава указаний эксплуатационной документации по поддержанию летной годности типовой конструкции и необходимого уровня ее эксплуатационной технологичности, вместе отвечающих минимальным требованиям норм летной годности. Недостатки в этих требованиях и методах оценки соответствия существенно влияют на безопасность и эффективность воздушного транспорта. Кратко проанализированы основные стандарты ИКАО и международная практика нормирования и оценки эксплуатационной технологичности и указаний по поддержанию летной годности авиатехники. На основе анализа требований норм летной годности в части технической поддержки обслуживания воздушных судов разработаны рекомендации по развитию требований и методов оценки соответствия типовой конструкции при ее сертификации. Для решения этой задачи необходим учет научных и практических разработок в области интегрированной логистической поддержки как технологии, объединяющей работы по надежности, эксплуатационной технологичности и другим эксплуатационно-техническим характеристикам вновь создаваемого воздушного судна для формирования эффективной системы его технической эксплуатации. Разработаны рекомендации по видам требований в нормах летной годности и методам оценки соответствия им при сертификации, которые подлежат корректировке, и направления необходимых для этого работ, включая внедрение методов компьютерного моделирования и натурных испытаний для подтверждения соответствия авиационной техники сертификационным требованиям к эксплуатационной технологичности. Показана необходимость учета при этом научных и практических разработок в области интегрированной логистической поддержки, объединяющей работы по надежности и эксплуатационной технологичности вновь создаваемой авиационной техники с целью системной увязки требований к надежности, к потребным для поддержания надежности работам по обслуживанию и к необходимому для выполнения этих работ уровню эксплуатационной технологичности типовой конструкции.

Ключевые слова: воздушное судно, гражданская авиация, летная годность, сертификация, эксплуатационная технологичность.

ВВЕДЕНИЕ

С принятия в 1967 г. первых отечественных Норм летной годности самолетов (НЛГС-1)¹ значительное внимание в них всегда уделялось сертификационным требованиям к эксплуатационной технологичности (ЭТ) типовой конструкции воздушного судна (ВС) и его эксплуатационной документации (ЭД). Сейчас такие требования также присутствуют в действующих федеральных авиационных правилах (ФАП), содержащих нормы летной годности (НЛГ), например, для ВС транспортной категории^{2,3}, но в процессе гармонизации с международной практикой был утрачен ряд важных аспектов как собственно сертификационных требований к ЭТ, так и их

¹ Нормы летной годности гражданских самолетов СССР. 1-е изд. Жуковский: ЦАГИ, 1967. 212 с.

² Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности гражданских самолетов транспортной категории (АП-25). 5-е изд. с поправками 1–8. М.: Авиаиздат, 2015. 290 с.

³ Авиационные правила. Часть 29. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории (АП-29). 2-е изд. М.: Авиаиздат, 2003. 129 с.

взаимосвязи с требованиями к работам по техническому обслуживанию (ТО) для поддержания летной годности (ЛГ) ВС на стадии эксплуатации. Кроме того, структура, полнота требований и их увязка не до конца отработаны.

Методы оценки соответствия (МОС) типовой конструкции ВС требованиям к ЭТ недостаточно разработаны как в отечественной, так и в зарубежной практике. Ранее разрабатывавшиеся МОС плохо формализуют взаимосвязи между выбором необходимых работ по ТО и конструктивными мерами в области ЭТ типовой конструкции.

Другая проблема связана с тем, что быстро развивающиеся цифровые технологии дают новые технологические возможности для более эффективной оценки с использованием электронного макета ВС и его систем таких составляющих ЭТ, как доступность, легкосъемность, удобство ТО конструкции, но нормативно-методическая база для этого также недостаточно проработана.

Опыт сертификации самолета Суперджет 100 и работы по самолету МС-21 показывают, что на практике разработчики авиационной техники (АТ) уже проводят до нескольких сот оценок ЭТ различных агрегатов и блоков на электронных макетах ВС, но эти работы не подкреплены руководящими документами уполномоченных органов в области сертификации конструкции АТ. Все вышеуказанные обстоятельства предопределяют актуальность темы статьи.

СЕРТИФИКАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Эксплуатационная технологичность определяет приспособленность конструкции к выполнению работ по ТО (плановому и неплановому) с минимальными затратами труда, времени и средств в заданных условиях эксплуатации⁴. В авиационной отрасли сложилось разграничение понятий ЭТ и «ремонтпригодность» по ГОСТ 27.002⁵. Последнее понятие практически не применяется в авиации и рассматривается как составная часть надежности для простых изделий, не требующих планового ТО.

Уровень ЭТ зависит от ряда частных свойств конструкции, совместно определяющих качество и трудоемкость работ по ТО. Составляющие ЭТ конструкции проиллюстрированы на рис. 1 (адаптирован из работы [1]). Обслуживаемость определяет приспособленность конструкции к выполнению зарядно-заправочных работ (топливо, вода и др.), профилактических (чистка, смазка) и снаряжательных работ (загрузка бортового питания и т. п.), а также работ по обеспечению стоянки и хранения (чехление, консервация и др.). Контролепригодность характеризует возможность и достоверность контроля технического состояния конструкции принятыми методами и средствами контроля. Восстанавливаемость отражает приспособленность ВС и его составных частей (СЧ) к устранению выявленных отказов и повреждений. На основе приведенной общей картины составляющих ЭТ рассмотрим существующие в составе НЛГ требования к ЭТ и ЭД на авиационную технику. В основе этих требований лежат минимальные стандарты Международной организации гражданской авиации (ИКАО), изложенные в Приложении 8 к Чикагской конвенции⁶.

⁴ ГОСТ 14205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 1988. 4 с.

⁵ ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 35 с.

⁶ Приложение 8 к Конвенции о международной гражданской авиации. Летная годность воздушных судов. 11-е изд. Монреаль: ИКАО, 2010. 225 с.



Рис. 1. Свойства и факторы, определяющие ЭТ конструкции ВС при ТО
Fig. 1. Qualities and factors defining an aircraft design maintainability

Международные стандарты ИКАО используются при формировании национальных НЛГ, наиболее современные из которых сложились в США (например, федеральные авиационные правила FAR 25⁷) и Европейском Союзе (например, часть НЛГ ЕС CS-25⁸), они почти не отличаются друг от друга. С нормами США и ЕС в основном гармонизированы отечественные НЛГ (например, АП-25 для самолетов транспортной категории⁹). Следует отметить, что в последние годы в связи с имевшими место авиационными происшествиями из-за недостатков ЭТ и ЭД в рассматриваемые части НЛГ внесены новые требования относительно доступности элементов конструкции для ТО и подготовки указаний по поддержанию ЛГ для системы электрических соединений (СЭС/EWIS, англ. Electrical Wiring Interconnection System).

Результаты сравнительного анализа требований к ЭТ приведены в табл. 1 (для сокращения объема текста содержание требований не цитируется дословно). Материалы таблицы

⁷ Part 25 – Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes [Электронный ресурс] // Electronic Code of Federal Regulations, April 2018. Режим доступа: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?node=14:1.0.1.3.11> (дата обращения: 14.04.2018).

⁸ CS-25 – Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes [Электронный ресурс] // EASA Electronic Regulations, March 2018. Режим доступа: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-25%20Amendment%2021.pdf> (дата обращения: 14.04.2018).

⁹ Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности гражданских самолетов транспортной категории (АП-25). 5-е изд., с поправками 1–8. М.: Авиатиздат, 2015. 290 с.

характеризуют современное состояние системы требований к ЭТ типовой конструкции ВС и соответствующей ЭД на эту конструкцию.

Таблица 1
Table 1

Требования к ЭТ в международных и отечественных НЛГ
Maintainability requirements in the international and national airworthiness codes

Стандарты ИКАО	Требования США и ЕС	Требования РФ и их особенности
Приложение 8, п. 4.1.5 Проверка Требует принятия мер, позволяющих проводить проверки, замену или ремонт тех частей конструкции, которые в этом нуждаются на периодической основе или после попадания в нерасчетные условия эксплуатации	25.611 Обеспечение доступа Требует обеспечения доступа для осмотра и проверки основных силовых элементов конструкции и систем управления, периодической замены СЧ, других работ по поддержанию ЛГ. Требует соответствия условий и технологии работ по ТО, назначенной для работ периодичности выполнения, включая применение методов неразрушающего контроля с доказанной эффективностью в случае нецелесообразности непосредственного осмотра СЧ. Требует описания технологии выполнения работ по ТО согласно требованиям 25.1529. Отсылает к специальным требованиям по доступности к элементам СЭС согласно 25.1719	25.611 Обеспечение доступа Требования АП-25 аналогичны принятым в США и ЕС
Приложение 8, п. 4.1.8 Наземное обслуживание Требует принятия конструктивных мер для минимизации риска нанесения при наземном обслуживании (буксировке и т. п.) повреждений, которые могут быть не замечены и повлиять на безопасность эксплуатации. При этом учитывают и меры безопасности в форме ограничений и указаний по выполнению наземного обслуживания	25.519 Подъем и швартовка на земле Требует наличия элементов конструкции для подъема на домкратах или стропами, а также швартовки на земле без превышения нормированных нагрузок конструкции в заданных условиях	25.519 Подъем и швартовка на земле Требования АП-25 аналогичны принятым в США и ЕС
Приложение 8, п. 10.4 Информация о ТО типовой конструкции Требует указания работ по ТО и их периодичности, установленных при утверждении типовой конструкции государством разработчика в качестве обязательных	25.1529 Указания по поддержанию ЛГ Требует подготовки указаний по поддержанию ЛГ АТ в соответствии с требованиями особого приложения к этому пункту НЛГ	25.1529 Инструкции по поддержанию ЛГ Требования АП-25 аналогичны принятым в США и ЕС
Приложение 8, п. 9.6.2 Маркировка и пояснительные надписи Требует нанесения маркировки и пояснительных надписей для предоставления наземному персоналу информации, важной для предотвращения оши-	25.1541 Общие требования к обозначениям элементов конструкции Требует нанесения на СЧ конструкции необходимых обозначений, трафаретов и информации в иной форме, которые необходимы для безопасной эксплуатации ВС Требует нанесения указанной информации таким способом, чтобы информация располагалась на видных местах, легко считывалась, ее было	25.1541 Общие требования к обозначениям элементов конструкции Требования АП-25 аналогичны принятым в США и ЕС

Продолжение таблицы 1

Стандарты ИКАО	Требования США и ЕС	Требования РФ и их особенности
бок при ТО во избежание угроз безопасности последующих полетов	трудно стереть или исказить	
В Приложении 8 требования отсутствуют	25.1701 Определение СЭС Определяет СЭС как провода, устройства для их монтажа или комбинацию обоих, включая и оконечные устройства, установленные для передачи электрической энергии, в том числе данных и сигналов, между узлами на борту ВС	25.1701 Определение СЭС Требования АП-25 аналогичны принятым в США и ЕС
В Приложении 8 требования отсутствуют	25.1711 Идентификация элементов СЭС Требует наличия на элементах СЭС постоянной графической маркировки, обеспечивающей идентификацию конкретного элемента, его назначения и конструктивных ограничений (если они установлены). При невозможности нанесения такой графической маркировки предусматриваются иные способы идентификации, отвечающие этим требованиям. Требует дополнительной идентификации обозначения элемента конструкции, его назначения и требований к разделению жгутов для тех элементов СЭС, для которых НЛГ, правилами эксплуатации или результатами оценки соответствия предусмотрено обязательное резервирование. Требует размещения идентификационных сведений вдоль провода, кабеля или жгута с необходимым интервалом и в тех зонах ВС, где они будут видны персоналу ТО. Эта информация должна быть устойчивой к износу, читаемой и не оказывать негативного влияния на характеристики элемента СЭС в течение всего ожидаемого срока его службы. Требует использования принятой для типа ВС системы идентификации элементов СЭС также и на модифицированных элементах этой конструкции	25.1711 Идентификация элементов СЭС Требования АП-25 аналогичны принятым в США и ЕС
В Приложении 8 детальные требования отсутствуют	25.1719 Обеспечение доступа СЭС Требует обеспечения доступа, позволяющего выполнить проверки и замены компонентов СЭС, необходимые для поддержания ЛГ	25.1719 Обеспечение доступа СЭС Требования АП-25 аналогичны принятым в США и ЕС
В Приложении 8 детальные требования отсутствуют	Приложение к 25.1529 Содержание и формат указаний по поддержанию ЛГ Требует подготовки указаний по поддержанию ЛГ в форме руководства или нескольких руководств (в зависимости от объема данных) в удобном для практического использования формате. Регламентирует содержание указаний по поддержанию ЛГ. Требует оформления двух особых разделов указаний по поддержанию ЛГ: – ограничения летной годности; – указаний по поддержанию ЛГ для элементов СЭС	Приложение к 25.1529 Содержание и формат указаний по поддержанию ЛГ Требования АП-25 аналогичны принятым в США и ЕС
В Приложении 8 требования отсутствуют	25.1729 Указания по поддержанию ЛГ СЭС Требует подготовки указаний по поддержанию ЛГ для элементов СЭС согласно общим требованиям	25.1729 Указания по поддержанию

Стандарты ИКАО	Требования США и ЕС	Требования РФ и их особенности
	Приложения к 25.1529	ЛГ СЭС Требования АП-25 аналогичны приня- тым в США и ЕС

В отличие от современной практики, в НЛГ СССР ЭТ и ЭД был посвящен специальный раздел 5.12, где содержались системные требования, которые предусматривали следующее:

- конструкция бортовых систем должна сводить к минимуму возможность опасных ошибок при эксплуатации, ТО и ремонте ВС;
- ЭТ конструкции (доступность) должна быть достаточна для выполнения всех работ, включенных в ЭД на типовую конструкцию ВС;
- маркировка в сочетании с конструктивным исполнением конструкции ВС (в первую очередь штуцеров, трубопроводов, электропроводки и разъемных соединений) должны сводить к минимуму вероятность неправильного демонтажа, монтажа и (или) регулировки при ТО ВС;
- формулировки указаний ЭД должны быть четкими и не допускать возможности их неоднозначного толкования специалистами, выполняющими ТО ВС.

В результате гармонизации упомянутых выше российских НЛГ с их зарубежными аналогами объем требований и их формулировки изменились не в лучшую сторону. Претерпели упрощение и процедуры сертификации типовой конструкции ВС в части ЭТ и ЭД. При этом за многие годы развития российских НЛГ и МОС (с 1992 г.) из-за преобладания концепции заимствования американских и европейских норм не удалось детализировать и взаимно увязать требования к надежности, ЭТ и ЭД на основе научных и практических разработок в области интегрированной логистической поддержки (ИЛП), объединяющих работы по надежности, ЭТ и другим эксплуатационно-техническим характеристикам (ЭТХ) ВС в обеспечение формирования уже при его проектировании эффективной системы технической эксплуатации и сопровождения ее на стадии эксплуатации ВС (см. работы [1, 2, 3]).

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ КОНСТРУКЦИИ СЕРТИФИКАЦИОННЫМ ТРЕБОВАНИЯМ К ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Опыт сертификации показывает, что МОС для проверки соответствия ЭТ типовой конструкции АТ сертификационным требованиям отсутствуют как в отечественной, так и в зарубежной практике. В ограниченном объеме проработаны методы оценки указаний по поддержанию ЛГ (УПЛГ) в составе ЭД на ВС, например, МОС в упомянутых выше НЛГ CS-25 (книга 2) или рекомендательные циркуляры США для ВС транспортной категории AC 121-22C¹⁰ и AC 29-2C¹¹. Научно-методическая составляющая проблемы заключается в том, что в действующих НЛГ и правилах сертификации нет необходимой увязки сертификационных работ по оценке соответствия типовой конструкции ВС сертификационным требованиям к ЭТ и аналогичных работ по сертификации ЭД (УПЛГ) на типовую конструкцию. Кроме того, оба этих ви-

¹⁰ AC 121-22C – Maintenance Review Boards, Maintenance Type Boards, and OEM/TCH Recommended Maintenance Procedures [Электронный ресурс] // FAA Regulations & Policies, April 2018. Режим доступа: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%20121-22C.pdf (дата обращения: 14.04.2018).

¹¹ AC 29-2C – Certification of Transport Category Rotorcraft (changes 1–7 incorporated) [Электронный ресурс] // FAA Regulations & Policies, April 2018. Режим доступа: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_29-2C_Change_1-7.pdf (дата обращения: 14.04.2018).

да работ должны быть увязаны с сертификационными работами по надежности и отказобезопасности типовой конструкции (п. 25.1309 и др. в соответствующих НЛГ).

В нормах и правилах СССР эта проблема была решена путем совмещения двух областей:

1) сертификационные работы по оценке соответствия типовой конструкции требованиям НЛГ (к ЭТ, ЭД, надежности и другим ЭТХ);

2) работы по оценке соответствия ВС более широким, в том числе количественным, требованиям Технического задания на разработку ВС в части ЭТ, ЭД, надежности и других ЭТХ вновь создаваемого ВС.

В связи с этим требования к ЭТХ (в том числе к ЭТ) ВС были увязаны между собой и основным методом оценки соответствия при испытаниях и сертификации ВС было натурное выполнение большинства работ по ТО для подтверждения соответствия конструкции и ЭД требованиям как НЛГ, так и ТЗ на ВС.

Некоторое подобие такого подхода имеет место в упомянутом рекомендательном циркуляре США АС 29-2С, которым предусмотрены МОС по ЭТ конструкции транспортного вертолета. Оценку соответствия ЭТ требованиям п. 29.611 в соответствии с циркуляром производят методом инженерных оценок по чертежам, что нельзя считать достаточно эффективным, или же путем практического выполнения работ в процессе испытаний вертолета, что соответствует прежней советской практике. Оценка соответствия маркировки требованиям п. 29.1541 предусмотрена в основном для приборов вертолета (шкалы, обозначения) и проводится как часть летной оценки, которая не предусматривает оценку ЭТ при наземном ТО.

Надо заметить, что в оценке ЭТ конструкции моделирование уже многие годы играет важную роль, но в его традиционном смысле, предусматривающем постройку и оценку ЭТ моделей конструкции ВС в целом или отдельных частей конструкции из картона, дерева, пластика и металла. Эти методы моделирования имели невысокую эффективность и в настоящее время подлежат замене современными методами компьютерного моделирования. Работы по компьютерному моделированию в области ЭТ также ведутся не первый год (см., например, работы [4–6]), но пока не получили широкого признания уполномоченных органов в области обязательной сертификации АТ.

В связи с внедрением компьютерного моделирования АТ есть еще одна серьезная проблема общего характера. В законодательстве России нет правового понятия «компьютерная модель», и это затрудняет решение вопросов:

- выработки методов проверки адекватности моделей моделируемым ими объектам;
- приемки, утверждения и хранения результатов моделирования;
- правовой защиты результатов работ в области компьютерного моделирования и их передачи между заинтересованными сторонами в процессе создания и сертификации АТ.

ПУТИ РАЗВИТИЯ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ

Как показали результаты анализа методов сертификации АТ в части ЭТ, необходимо ликвидировать их отставание от развития автоматизированных технологий ИЛП, активно внедряемых разработчиками АТ при создании, производстве и сопровождении эксплуатации ВС. Для корректировки и взаимной увязки сертификационных требований НЛГ к надежности, ЭТ и другим ЭТХ ВС, а также к ЭД, содержащей указания по поддержанию ЛГ, необходимо руководствоваться логикой организации работ по обеспечению ЭТХ создаваемого ВС в рамках технологий ИЛП. Эти работы регламентированы выпущенными при участии авторов новыми ре-

дакциями национальных стандартов по ИЛП техники^{12,13,14}. Технология ИЛП предусматривает обеспечение ЭТ в комплексе с другими ЭТХ ВС (такими, как надежность, отказобезопасность, контролепригодность). При этом формирование конструктивных решений по ЭТ основано на результатах как реализации требований по назначению ВС (требований к функциональности бортовых систем), так и анализа надежности и последствий прогнозируемых отказов СЧ ВС. Этот концептуальный подход проиллюстрирован на рис. 2.

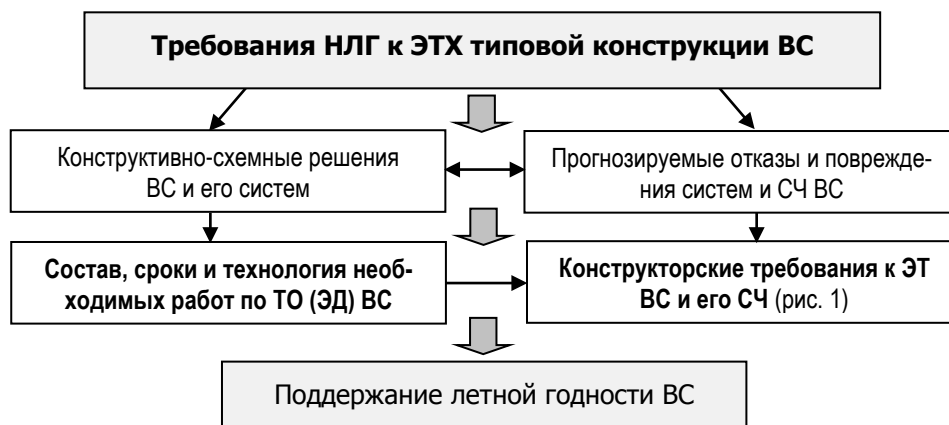


Рис. 2. Концепция увязки сертификационных требований к ЭТ и другим ЭТХ для типовой конструкции ВС

Fig. 2. Concept of integration of the certification requirements to the maintainability and other operating capabilities for an aircraft type design

Соответственно, результаты анализа надежности и последствий прогнозируемых отказов систем ВС и их СЧ позволяют сформировать требования к плановому ТО ВС, которые образуют основу указаний по поддержанию ЛГ и базу для задания конструкторских требований разного уровня к ЭТ типовой конструкции ВС. Указания по поддержанию ЛГ, представленные разработчиком в составе ЭД на ВС, необходимы эксплуатантам ВС для формирования собственных технологий ТО и организации работ по поддержанию ЛГ на стадии эксплуатации приобретенных им ВС, как это предусмотрено правилами государства регистрации ВС (в России это ФАП «Требования к юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, осуществляющим ТО гражданских ВС. Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, осуществляющих ТО гражданских ВС, требованиям ФАП», утв. приказом Минтранса России № 285 от 25.09.2015).

В рамках пересмотра сертификационных требований и МОС необходимо уточнить текст и увязать перекрестными ссылками следующие пункты НЛГ (на примере вышеупомянутой части НЛГ АП-25):

- Раздел А-0** Общие требования ЛГ самолета при отказах функциональных систем;
- 25.571** Оценка допустимости повреждений и усталостной прочности конструкции;
- 25.611** Обеспечение доступа;

¹² ГОСТ Р 53392-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2017. 20 с.

¹³ ГОСТ Р 53393-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.

¹⁴ ГОСТ Р 53394-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017. 20 с.

- 25.901 Общие требования (к силовой установке);
- 25.1309 Оборудование, системы и установки (в части надежности и отказобезопасности);
- 25.1529 Инструкции по поддержанию ЛГ;
- 25.1541 Общие положения (по трафаретам и надписям);
- 25.1711 Идентификация элементов СЭС;
- 25.1719 Обеспечение доступа СЭС;
- 25.1729 Инструкции по поддержанию ЛГ СЭС;

Приложение к 25.1529 Содержание и формат инструкций по поддержанию ЛГ.

Кроме того, необходимо сформировать МОС, согласованные с пересмотренными сертификационными требованиями к ЭТ. Это позволит повысить эффективность оценки ЭТ на электронном макете и при натурных сертификационных испытаниях типовой конструкции ВС. Разрабатываемые МОС должны обязательно регламентировать следующие аспекты:

- оценку полноты указаний по поддержанию ЛГ в смысле учета всех рассмотренных при создании типовой конструкции отказов и повреждений ее систем и СЧ с обоснованием выбора работ по ТО или отсутствия необходимости в таких работах;
- оценку принципиальной возможности выполнения (доступности объекта ТО) каждой из плановых и неплановых работ по ТО, предусмотренных указаниями по поддержанию ЛГ типовой конструкции ВС;
- оценку эффективности приведенных в указаниях по поддержанию ЛГ работ в смысле возможности предупреждения, выявления и устранения конкретных видов отказов, с которыми в процессе анализа логистической поддержки связано включение каждой из работ по ТО в состав указаний по поддержанию ЛГ типовой конструкции ВС (подробнее с этой методологией можно ознакомиться в [3, 7–10]);
- оценку защищенности конструкции от ошибок технического персонала (этот вид оценки весьма важен в плане безопасности и стоимости эксплуатации АТ, см., например, одно из последних исследований [11], а также руководство ИКАО¹⁵).

Для решения указанных задач в МОС рекомендуется предусмотреть следующее.

1. Инженерный анализ доступности и легкосъемности конструктивных элементов с учетом результатов оценки ЭТ (возможности выполнения работ по ТО) на электронном макете по перечням работ и объектов ТО, согласуемых с уполномоченным на то сертификационным центром (СЦ).
2. Практическое выполнение предусмотренных ЭД (УПЛГ) работ по ТО (по согласованному с уполномоченным СЦ перечням), надлежащим образом подготовленным техническим персоналом в соответствующей специальной одежде. При этом допускается имитация выполнения части работ без фактического демонтажа-монтажа отдельных СЧ конструкции, если такие работы не связаны с особо ответственными СЧ типовой конструкции.
3. Оценку при моделировании на электронном макете и (или) при натурном выполнении работ по ТО на предмет их выполнимости в заданной технологической последовательности с использованием средств наземного обслуживания, контроля и инструмента, указанных в ЭД (указаниях по поддержанию ЛГ) и прошедших, при необходимости, метрологическую аттестацию (государственные лабораторные испытания).
4. Проведение при внесении изменений в ЭД (УПЛГ) дополнительных или повторных оценок соответствия в объеме, согласованном с уполномоченным СЦ.
5. Оценку соответствия маркировки и эксплуатационной информации (п. 25.1541) путем практической сверки типовой конструкции с указаниями ЭД (УПЛГ). При этом для всех надписей и трафаретов должно быть установлено, что они:

¹⁵ Руководство по обучению в области человеческого фактора. Дос 9683. 1-е изд. Монреаль: ИКАО, 1998. 364 с.

- расположены на видных местах, рядом или на поверхности СЧ, элемента конструкции или органа управления, к которым они относятся;
- выполнены способами, предотвращающими истирание и искажение;
- минимизируют возможность неправильного считывания или неоднозначного толкования, неправильного демонтажа, монтажа, сборки и регулировки;
- используют единицы измерения, совпадающие как с единицами, отображаемыми на элементе конструкции, шкале прибора, поверхности органа управления, так и с единицами, используемыми в ЭД (УПЛГ).

Вышеуказанные работы требуют принятия также процедур сертификации, которые будут предусматривать рациональное сочетание различных видов оценок ЭТ конструкции по этапам создания ВС, включая широкое применение методов компьютерного моделирования наряду с натурными испытаниями (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Виды требований и МОС по ЭТ на различных этапах создания ВС
Requirements and acceptable means of compliance for maintainability
at the different stages of an aircraft development

Этап создания ВС	Используемые требования и МОС по ЭТ
Концептуальное проектирование (аванпроект)	Системное моделирование концепции ВС и системы его технической эксплуатации для оценки реализуемости задаваемых требований к ЭТ
Эскизное (техническое) проектирование	Инженерный анализ, расчеты и компьютерное моделирование ВС и СЧ для формирования сертификационного базиса и предварительной оценки соответствия рассматриваемых конструктивных решений сертификационным требованиям к ЭТ
Рабочее проектирование	Стендовые и иные натурные испытания, компьютерное моделирование ВС и СЧ для оценки соответствия типовой конструкции ВС сертификационным требованиям к ЭТ
Сертификационные испытания	Сочетание натурных испытаний и оценок на электронном макете ВС для установления соответствия типовой конструкции ВС сертификационным требованиям к ЭТ и ЭД (УПЛГ)
Мониторинг ЭТХ ВС на стадии эксплуатации	Системное моделирование ВС и системы его технической эксплуатации с учетом корректировки параметров моделей по фактическим эксплуатационным данным. Проверка ЭТ конструктивных решений и сопутствующих УПЛГ (при необходимости) для модификаций типовой конструкции ВС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сертификационные требования к ЭТ типовой конструкции ВС и его ЭД играют важную роль в обязательной сертификации АТ, но структура и содержание требований, а также методы оценки соответствия им нуждаются в совершенствовании как из-за выявленных пробелов в требованиях, так и в связи с отсутствием признанных уполномоченными органами методов моделирования и испытаний для оценки ЭТ и ЭД при сертификации ВС.

2. Развивающиеся цифровые технологии проектирования дают новые возможности для более эффективной оценки соответствия ЭТ типовой конструкции сертификационным требованиям с использованием электронного макета ВС и его систем. Это предопределяет создание МОС на основе сочетания натурных и виртуальных испытаний, но для внедрения компьютерного моделирования ЭТ АТ надо законодательно и процедурно регламентировать понятие «компьютерная модель», методы проверки адекватности моделей моделируемым объектам,

процедуры приемки, утверждения и хранения результатов моделирования при их передаче между участниками создания и сертификации АТ.

3. Разработаны рекомендации по развитию сертификационных требований и методов оценки соответствия типовой конструкции ВС этим требованиям. Показана необходимость учета при этом научных и практических разработок в области ИЛП как технологии, объединяющей работы по надежности, ЭТ и другим ЭТХ вновь создаваемого ВС. Использование этих технологий предполагает системную увязку требований к надежности АТ, к потребным для поддержания надежности работам по ТО и к необходимому для выполнения этих работ уровню ЭТ типовой конструкции ВС. При испытаниях и сертификации все три указанных аспекта соответствия требованиям подлежат проверке.

4. Выбраны конкретные, связанные с ЭТ, пункты требований НЛГ, подлежащие корректировке, и принципы построения МОС, необходимых для подтверждения выполнения этих требований. Реализация приведенных рекомендаций позволит повысить эффективность разработки, испытаний и сертификации вновь создаваемых ВС, а также совершенствования их послепродажного обеспечения на стадии эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ялоза Ю.А.** Эксплуатационно-технические характеристики самолета: учеб. пособ. М.: МАИ, 2017. 96 с., ил.
2. **Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М.** Основы поддержания летной годности воздушных судов. М.: МГТУ ГА, 2012. 100 с., ил.
3. **Судов Е.В.** Анализ логистической поддержки: теория и практика / А.И. Левин, А.Н. Петров, А.В. Петров, Д.Н. Бороздин. М.: Информ-Бюро, 2014. 260 с., ил.
4. **Lu Z., Zhou J., Li N.** Maintainability Fuzzy Evaluation Based on Maintenance Task Virtual Simulation for Aircraft System // *Eksplatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2015, № 17(4). pp. 504–512. DOI: 10.17531/ein.2015.4.4.
5. **Jo G.-S.** Unified Framework for Augmented Reality and Knowledge-Based Systems in Maintaining Aircraft / Oh K.-J., Ha I., Lee K.-S., Hong M.-D., Neumann U., You S. // *Proc. of the Twenty-Sixth An. Conf. on Innovative Applications of Artificial Intelligence*, July 2014. pp. 2990–2997.
6. **Shifrin C.** New Embraer Family Maintenance // *Overhaul & Maintenance*. 2004. April. pp. 37–41.
7. **Далецкий С.В.** Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт, 2005. 416 с., ил.
8. **Nowlan F. S., Heap H.F.** Reliability-Centered Maintenance. Report No. AD-A066-579. San Francisco (Ca, USA): United Airlines, 1978. 476 p., il.
9. **Ren H., Chen X., Chen Y.** Chapter: RCM and Integrated Logistic Support // *Aerospace Engineering*. 2017. Vol.: Reliability Based Aircraft Maintenance Optimization and Applications. pp. 79–97. DOI: 10.1016/B978-0-12-812668-4.00004-6.
10. **Moubray J.** Reliability-Centered Maintenance. 2nd Edition. New York: Industrial Press Inc., 1997. 440 p., il.
11. **Virovac D., Domitrovic A., Bazijanac E.** The Influence of Human Factor in Aircraft Maintenance // *Promet – Traffic&Transportation*. 2017. Vol. 29, № 3. pp. 257–266. DOI: 10.7307/ptt.v29i3.2068.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ялоза Юрий Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательской лаборатории АО «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова», yury556@ya.ru.

Петров Андрей Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отделения АО «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова», andrey-lii@ya.ru.

PERSPECTIVES OF THE METHODS DEVELOPMENT FOR AIRCRAFT MAINTAINABILITY CERTIFICATION

Yury A. Yaloza¹, Andrey N. Petrov¹

Gromov Flight Research Institute, Zhukovsky, Russia

ABSTRACT

The paper outlines the main problems and perspectives of methods development for regulation and finding compliance of aircraft during the type design maintainability certification. Mentioned requirements and methods relevance are related to the fact that aircraft continuing airworthiness at the operational stage is possible only with a reasonable combination of the maintenance documentation instructions for continuing airworthiness of a type design and the required level of its maintainability, which both meet the minimum requirements of airworthiness standards. Deficiencies in those requirements and means of compliance have notable influence on the safety and effectiveness of air transportation. Main ICAO standards and international practice of regulation and evaluation of aircraft maintainability and instructions for continuing airworthiness are briefly analyzed. On the base of aircraft maintenance requirements analysis recommendations proposed aimed to further develop regulations and means of compliance for a type design maintainability certification. For solving this problem there is a need to implement certain scientific and practical developments in the domain of integrated logistic support as a technology which integrates the reliability, maintainability and other technical operating capabilities activities for a newly-designed aircraft in order to create its effective maintenance system. The kinds of requirements within the aviation regulations and means of compliance for them are recommended, which have to be corrected and developed, as well as directions of works necessary for that, including implementation of computer modelling and prototypes testing for showing compliance of aircraft with the maintainability certification requirements. It is shown a need for implementation of the scientific and practical results of research in integrated logistic support domain which allow for interconnect of the reliability and maintainability activities within a new aircraft design in order to integrate systematically reliability requirements with the necessary maintenance action in support of reliability and with the required for those maintenance works level of type design maintainability.

Key words: aircraft, airworthiness, certification, civil aviation, maintainability.

REFERENCES

1. **Yaloza, Yu.A.** (2017). *Jekspluatacionno-tehnicheskie harakteristiki samoleta. Ucheb. posob.* [Technical Operating Capabilities of an Aeroplane]. Moscow: MAI, 96 p., il. (in Russian)
2. **Smirnov, N.N. and Chinyuchin, Yu.M.** (2012). *Osnovy podderzhaniya letnoi godnosti vozdushnykh sudov* [Basics of Aircraft Continuing Airworthiness]. Moscow: MGTU GA, 100 p., il. (in Russian)
3. **Sudov, E.V., Levin, A.I., Petrov, A.N., Petrov, A.V. and Borozdin, D.N.** (2014). *Analiz logisticheskoy podderzhki: teoriya i praktika* [Logistic Support Analysis: Theory and Practice]. Moscow: Inform-Bjuro, 260 p., il. (in Russian)
4. **Lu, Z., Zhou, J. and Li, N.** (2015). *Maintainability Fuzzy Evaluation Based on Maintenance Task Virtual Simulation for Aircraft System*. *Eksplatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*, no. 4(17), pp. 504–512. DOI: 10.17531/ein.2015.4.4.
5. **Jo, G.-S., Oh, K.-J., Ha, I., Lee, K.-S., Hong, M.-D., Neumann, U. and You, S.** (2014). *Unified Framework for Augmented Reality and Knowledge-Based Systems in Maintaining Aircraft*.

Proc. of the Twenty-Sixth An. Conf. on Innovative Applications of Artificial Intelligence, July 2014, pp. 2990–2997.

6. **Shifrin, C.** (2004). *New Embraer Family Maintenance*. Overhaul & Maintenance, April, 2004, pp. 37–41.

7. **Daleckij, S.V.** (2005). *Formirovanie jekspluatacionno-tehnicheskikh harakteristik vozdušnyh sudov grazhdanskoj aviacii* [Development of an Aircraft Technical Operating Capabilities]. Moscow: Vozdushnyj transport, 416 p., il. (in Russian)

8. **Nowlan, F.S. and Heap, H.F.** (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. Report No. AD–A066–579. San Francisco (Ca, USA), United Airlines, 476 p., il.

9. **Ren, H., Chen, X. and Chen, Y.** (2017). *Chapter: RCM and Integrated Logistic Support*. Aerospace Engineering, vol.: Reliability Based Aircraft Maintenance Optimization and Applications, pp. 79–97. DOI: 10.1016/B978–0–12–812668–4.00004–6.

10. **Moubray, J.** (1997). *Reliability-Centered Maintenance*. 2nd Edition. New York: Industrial Press Inc., 440 p., il.

11. **Virovac, D., Domitrovic, A. and Bazijanac, E.** (2017). *The Influence of Human Factor in Aircraft Maintenance*. Promet – Traffic&Transportation, vol. 29, no. 3, pp. 257–266. DOI: 10.7307/ptt.v29i3.2068.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yury A. Yaloza, Candidate of Technical Sciences, Senior Staff Scientist, Chief of the Research Laboratory of the Gromov Flight Research Institute, yury556@ya.ru.

Andrey N. Petrov, Candidate of Technical Sciences, Senior Staff Scientist, Chief of the Research Division of the Gromov Flight Research Institute, andrey-lli@ya.ru.

Поступила в редакцию 29.04.2018
Принята в печать 17.07.2018

Received 29.04.2018
Accepted for publication 17.07.2018