

УДК 629.7.036.3.018:629.7.036.3-19

В.Т. Шепель

ОАО «НПО «Сатурн», Россия

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТЬЮ АВИАЦИОННОГО ГТД

Рассмотрены методы поддержания непрерывной летной годности авиационного двигателя в процессе жизненного цикла. Подробно рассмотрена Европейская система сертификации. Представлены основы формирования сертификационного базиса. Описаны сертификационные листы соответствия, контрольный перечень соответствия. Описана система управления конфигурацией авиационного двигателя в процессе жизненного цикла. Рассмотрены методы проведения сертификационных испытаний, особенности оформления запроса на сертификационные испытания и порядок работы с сертификационными несоответствиями на основных этапах жизненного цикла двигателя.

Ключевые слова: летная годность, авиационный двигатель, сертификация, управление конфигурацией.

Введение

Достижение приемлемых стандартов летной годности (Airworthiness) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) обеспечивается соблюдением при проектировании системы критериев и норм прочности, норм летной годности (НЛГ) [1-3], гарантирующих целостность конструкции при соблюдении заданных эксплуатационных ограничений. Задачей системы управления летной годностью является контроль выполнения требований нормативно - технической документации на всех стадиях проектирования, изготовления, сертификации и эксплуатации авиационного двигателя для обеспечения адекватного уровня безопасности.

Методология поддержания непрерывной летной годности в процессе жизненного цикла состоит из трех основных этапов:

1. Сертификация типа.

Заявка, сертификационные листы соответствия (CCS), сертификационный базис (CS-E+CS - 34+CRI), контрольный перечень соответствия (CCL), тест-план сертификационных испытаний, работа с несоответствиями в процессе сертификации, сертификационные запросы на испытания (СТ), проведение испытаний, написание сертификационных отчетов (CR), получение сертификата типа, базовый перечень типовой конструкции.

2. Поддержание сертификата типа в производстве.

Изменение типовой конструкции для улучшения летно-технических характеристик двигателя и в результате непреднамеренных отклонений в процессе производства. Классификация несоответствий на мажорные и минорные. Пред-

варительное обоснование необходимости изменения технического определения. Стратегия обоснования изменения технических требований (CSSD). Интеграция отклонений в конструкторскую, ремонтную и эксплуатационную документацию.

3. Продление летной годности в эксплуатации.

Сервисные бюллетени, относящиеся к сертифицированным двигателям. Директивы летной годности. Публикации технической документации потребителям: инструкций по продлению летной годности, руководств по эксплуатации двигателя и оборудования. Отчеты о событиях и инцидентах в эксплуатации. Информирование авиационных властей о корректирующих действиях и надежности.

1. Сертификация авиационного ГТД

Сертификация ГТД является частью системы обеспечения безопасности путем допуска в эксплуатацию двигателей, отвечающих государственным требованиям к летной годности и охраны окружающей среды.

Государственными органами, контролирующими процесс поддержания непрерывной летной годности являются в:

- России – Авиационный регистр Межгосударственного авиационного комитета (АР МАК);
- Европе – European Aviation Safety Agency (EASA);
- США – Federal Aviation Administration (FAA).

Сертификат типа - это документ, официально подтверждающий то, что летная годность ГТД успешно продемонстрирована до ввода его в серийную эксплуатацию. Неотъемлемой частью

Сертификата Типа является карта данных. В карте данных в кратком изложении содержится информация: о типе двигателя, держателе сертификата, изготовителе, дате заявки и выдачи сертификата, применяемые стандарты летной годности и экологические требования, перечень инструкций по эксплуатации и обслуживанию, технические данные, эксплуатационные и установочные ограничения.

При формировании перечня технического определения сертифицируемой конструкции в соответствии с 21А.31 [4] используется понятие типовой конструкции. Типовая конструкция двигателя включает перечень деталей, характеристик и эксплуатационные ограничения, соответствие которых требованиям НЛГ установлено в результате сертификации. Перечень дополняется электронными файлами чертежей и спецификаций, информацией по материалам и техпроцессам. Список деталей типовой конструкции окончательно корректируется на основе перечня деталей, прошедших в составе двигателя успешные 150-часовые испытания на выносливость. Этот список является репрезентативным для начального определения типовой конструкции и хранится в электронной базе данных. В процессе сертификации состав типовой конструкции может дополняться и уточняться.

При формировании перечня деталей типовой конструкции используется термин соответствующие детали. Соответствующая деталь — это деталь по конструкции или функции, оказывающая влияние на летную годность и, следовательно, результат сертификационных испытаний.

Сертификационный базис публикуется в самом первом сертификационном документе Certification Review Item (CRI), который является соглашением между авиационными властями и промышленностью по техническим вопросам сертификации. CRI являются документами обязательными для выполнения.

Если двигатель сертифицируется по нескольким НЛГ, например, по CS-E и AP-33, то наиболее рациональным решением является сертификация по одной из НЛГ и последующая валидация по другой, с учетом расхождений в их требованиях. При этом обязательным условием валидации, является документально оформленное соглашение между авиационными властями с включением в него списка двигателей к которым будет применена процедура валидации.

При сертификации ГТД сертификационный базис дополняется документами, регламентирующими процесс сертификации. К таким документам относятся сертификационные листы соответствия техническим требованиям Certification Compliance Sheets (CCS) и контрольный перечень соответствия Certification Check List (CCL).

Целью листов CCS является получение одобрения EASA на средства демонстрации соответствия, которые Заявитель будет использовать в процессе сертификации. Листы соответствия CCS содержат изложение пунктов норм летной годности, распространяемых на сертифицируемый двигатель, и описание методов установления соответствия по каждому из требований. Каждому требованию норм летной годности соответствует отдельный лист CCS. Первый раздел содержит описание требований норм, распространяемых на сертифицируемую модель двигателя, второй — предлагаемые средства установления соответствия; третий — перечень ссылок на номера сертификационных отчетов Certification Report (CR), которые будут содержать информацию по установленному соответствию и будут представлены на утверждение в EASA, четвертый — извещение об изменениях.

Листы CCS являются документами, утверждаемыми EASA в процессе сертификации двигателя.

Методы демонстрации соответствия требованиям сертификационного базиса могут базироваться на основе сертификационных испытаний полноразмерного двигателя, его компонентов и систем, оборудования, фрагментов конструкции, моделирующих наиболее уязвимые зоны двигателя. Применяется также расчетный анализ, сравнительный анализ с конструкцией, которая ранее была сертифицирована. Возможна любая комбинация вышеперечисленных методов.

После одобрения листов CCS оформляется план сертификации в виде контрольной таблицы соответствия CCL. Данный документ используется для управления процессом сертификации со стороны Разработчика и контроля со стороны EASA. Контрольная таблица соответствия CCL содержит перечень необходимых к выполнению сертификационных запросов на испытания Certification Test Request (CT) и сертификационных отчетов (CR). В этой таблице указывается перечень требований Норм летной годности, соответствие которым будет продемонстрировано выпуском сертификационных отчетов. Таблица CCL также включает методы установления соответствия (испытания, анализ, сравнительный анализ или совместное их применение) с указанием номеров двигателя, модуля, агрегата, которые будут использованы для этих целей. Контрольная таблица соответствия обновляется и дополняется в процессе сертификации. Она не является документом, утверждаемым EASA.

Другим важным документом, используемым для управления работами по сертификации, является тест-план (Test plan). Тест-план представляет собой таблицу с раскладкой по времени всех видов сертификационных испытаний с привяз-

кой этих испытаний к конкретным двигателям и их переборкам. Тест-план также содержит перечень испытаний, обеспечивающих поддержку Заказчика в проведении летных и сертификационных испытаний самолета.

В процессе сертификации всегда имеют место отклонения от типовой конструкции, несоответствия (более широкое определение отклонения), которые интегрируются в конструкторскую документацию. Отклонения от типовой конструкции по международной классификации подразделяются на существенные - мажорные или несущественные - минорные по степени влияния на летную годность, экологические и другие характеристики двигателя.

Отклонения интегрируются в сертификационную документацию по процедурам изменения технических требований на этапе разработки, серийного производства и эксплуатации на основе применения системы управления конфигурацией.

Управление и отслеживание за процессом изменений технических требований к конструкции в базовой конфигурации осуществляется с момента передачи спецификации типовой конструкции двигателя в EASA с помощью системы управления конфигурацией. В основу системы управления конфигурацией положен механизм прослеживаемости всех отклонений от типовой конструкции с обязательным анализом их допустимости с точки зрения НЛГ. Управление конфигурацией осуществляется через компьютеризованную систему управления техническими данными. Электронная база системы управления конфигурацией используется для комплектации производственной сборки. Управление конфигурацией осуществляется на всех стадиях жизненного цикла.

Управление конфигурацией на этапе сборки и испытания осуществляется посредством перечней, запланированная конфигурация и фактическая конфигурация по окончании сборки и испытаний. Изменение перечня запланированной конфигурации на этапе сертификации возможно только через оформление запроса на вмешательство. Запросы на вмешательство систематизируются после каждой сборки и испытаний.

Система управления конфигурацией позволяет всем участникам проекта в процессе жизненного цикла двигателя пользоваться едиными правилами и отслеживать все изменения типовой конструкции. Естественно, что такая система не может носить универсального характера, поскольку в рамках международного сотрудничества каждое государство имеет свою систему национальных стандартов, НЛГ. Поэтому все участники проекта должны иметь согласованные процедуры управления конфигурацией и общую

систему интеграции отклонений в конструкторскую документацию, производство, включая и работу с субподрядными организациями. Несмотря на различие в национальных стандартных и подходах, система управления конфигурацией имеет общие принципы построения.

Таким образом, система управления конфигурацией позволяет на уровне авиационно-транспортной системы осуществлять техническое и административное руководство с целью:

- управлять изменениями этих характеристик в базовой сертификационной конфигурации;
- идентифицировать и документировать функциональные и физические характеристики двигателей, модулей и деталей на любых этапах жизненного цикла;
- документировать и доводить до исполнителей содержание изменений и их статус.

Для реализации системы управления конфигурацией каждый разработчик двигателя, системы, узла должен иметь систему хранения информации о свойствах материалов, включающую документацию технического определения материалов и металлургических требований для производства, документацию по технологическим процессам и производственной валидации.

Запрос на сертификационные испытания - документ, содержащий описание стратегии установления соответствия и логическое обоснование для любого отклонения от процесса сертификации (режимы испытания, типовая конструкция, конфигурация объекта испытаний с испытательным оборудованием). В сертификационном запросе описывается цель испытания, средства соответствия, описание объекта испытаний и испытательного оборудования. Запрос должен содержать перечень соответствующих деталей для данного испытания, декларацию, отражающую соответствие испытательного оборудования. Если имеются отклонения от соответствующих деталей, то в СТ должен быть представлен анализ допустимости таких отклонений. При необходимости в приложения к СТ вносятся необходимые анализы, результаты расчетов, обоснования отклонений. Запрос на проведение сертификационных испытаний подлежит одобрению EASA.

Если для демонстрации соответствия испытания не требуются, то выпуск СТ не производится. В этом случае демонстрация соответствия описывается в CR.

Перед проведением сертификационного испытания на объект испытаний представляется досье промышленной валидации (ОКПИ), декларации соответствия на испытательную установку, декларации готовности к проведению испытаний, программа проведения испытаний. ОКПИ это отчет о контроле первого изделия, демонстрирующий способность изготовителя воспроиз-

водить продукцию требуемого уровня качества. В данном документе содержится информация о том, что объект соответствует установленным техническим требованиям и стандартам, результаты проверок и приемочных испытаний. В ОКПИ указывается поставщик, заказчик, номер партии, количество, также прикладываются запросы на отклонения. На основе ОКПИ оформляется декларации соответствия на объект испытаний.

Если в процессе сертификации выявляются отклонения испытываемого объекта от типовой конструкции или отклонения в испытательной конфигурации одобренной авиационными властями СТ, то описание этих отклонений и обоснование их влияния на результаты сертификационного испытания описываются в документе о несоответствии техническим требованиям Certification Deviation Statement (CDS).

Сертификационными отклонениями являются, например, неверно выбранные режимы, стендовые условия, не адаптированные для целей испытания, отклонения от чертежа объекта испытаний и т.д. Справка с обоснованием сертификационных несоответствий является неотъемлемой частью СТ. После утверждения CDS приоритет уже не за СТ, а за CDS. Данный документ подтверждает, что допущенные отклонения не повлияют на цели и результаты испытания. CDS прилагается к сертификационному отчету. В одном CDS должна рассматриваться только одна деталь или одно несоответствие.

Таким образом, CDS необходимо выпускать для любых значительных отклонений, если они не обоснованы в СТ, любых отклонений от типовой конструкции, значительных отклонений при сборке.

В CDS указывается название и номер детали или модуля, номера запросов на отклонения. В названии CDS указывается тип отклонения: производственное, конструкторское, исправление режима, отклонение в испытательном оборудовании, редакционное и т.д.

Отклонение должно быть четко описано в столбце «описание несоответствия». Обоснование того, что деталь или модуль могут быть использованы для целей конкретного испытания, представляется в столбце «обоснование». В данном столбце CDS необходимо показать, что выявленные несоответствия не повлияют благоприятно на результаты испытания.

Необходимо отметить, что степень обоснования несоответствия в CDS та же, что и в СТ.

Цель сертификационного отчета - составить и документально оформить информацию для доказательства того, что сертифицируемая модель двигателя отвечает требованиям НЛГ.

Если произошли изменения в испытательном оборудовании или отклонение от типовой кон-

струкции после утверждения СТ и оформления CDS, то в CR должно быть включено обоснование, демонстрирующее, что обнаруженные несоответствия не повлияли благоприятно на результат сертификационных испытаний.

2. Поддержание сертификата типа в производстве

После получения сертификата типа и начала серийного производства и эксплуатации проводятся дополнительные работы по: введению модификаций, снижению массы двигателя, повышению надежности, снижению эксплуатационных издержек, замене поставщиков комплектующих изделий и технологий изготовления и т.д. Это неизбежно приводит к появлению отклонений от типовой конструкции.

С другой стороны появляются отклонения от типовой конструкции из-за производственных несоответствий, что требует внесения изменений в детали и сборочные единицы.

Изменениями являются любые исправления, исключения или внесения в конструкцию объекта конфигурации или его техническую документацию, которые определяют его физические и функциональные характеристики. Процесс отклонений от типовой конструкции инициируется службой качества. Предварительная классификация изменений типовой конструкции производится в соответствии с пунктом 21A.91 [4].

При определении уровня классификации изменений на мажорные или минорные, критериями являются: масса, прочность конструкции, надежность, рабочие характеристики, акустика, эмиссия и другие характеристики, влияющие на летную годность. Минорные изменения не оказывают значительного влияния на перечисленные критерии и на характеристики, влияющие на летную годность.

Все другие изменения классифицируются как мажорные изменения, кроме изменений, описанных в пункте 21A.19 [4]. В данном пункте сформулированы требования, затрагивающие столь значительные изменения в мощности, тяге или массе, что требуется подробный анализ соответствия исходному сертификату типа и требуется дополнительная сертификация.

Начало введения изменения инициируется выпуском документа Quart Chart (QC), обосновывающего необходимость внесения изменений в конструкцию. Исходной информацией для QC является предварительный лист классификации изменения и проект документа по стратегии обоснования изменения - Change Substantiation Strategy Document (CSSD).

После одобрения запроса на изменение QC, одобряется лист классификации изменения. Если изменение классифицируется как мажорное, даль-

нейшие действия с иницированием изменения проводятся по процедуре CSSD. CSSD является документом, одобряемым EASA. Лист классификации изменения дает ответ: могут ли изменения иметь прямое воздействие на самолет путем влияния на технические условия работы двигателя в составе силовой установки и на взаимодействие ее с самолетом. Такие изменения могут потребовать особого согласования с заказчиком. В данном документе анализируются изменения, которые влияют на двигатель без прямого воздействия на самолет. То есть, анализируется влияние изменения на демонстрацию соответствия требованиям сертификационного базиса двигателя (CS-E+CS-34+CRI), но не влияющие на взаимодействие двигателя с самолетом.

В CSSD указывается модель двигателя, затронутый модуль и предмет изменения. В CSSD резюмируется цель и содержание изменения, кратко описываются рамки утверждения, и представляется способы его реализации. Данная процедура характеризует влияние мажорного изменения конструкции на каждый пункт применимых требований (CS-E+CS-34+CRI) для двигателя и предлагает средства демонстрации соответствия. Описываются причины и история появления отклонения. Подробно рассматривается предмет изменения и предполагаемый способ его реализации. Проводится предварительная оценка влияния изменения на летную годность, экологическая и экономическая оценка. Дается оценка влияния на физическую и функциональную взаимозаменяемость, а также оценка влияния изменения на стыки и общую конфигурацию двигателя, принципы его разработки и допущения, используемые при сертификации. В CSSD приводится также оценка влияния на физическую и функциональную взаимозаменяемость.

Данный документ содержит список доказательных документов, которые будут выпущены для демонстрации соответствия. Если CSSD ассоциирован на изменение типовой конструкции без проведения испытаний, то запрос на испытания не требуется.

Выпуск CSSD для минорных изменений конструкции не требуется.

Заполняются также разделы этого документа по оценке влияния на руководство по ремонту двигателя (ESM), руководство по техобслуживанию компонентов (СММ), иллюстрированный каталог деталей (IPC), руководство по техническому обслуживанию самолета (АММ).

Заполняется также сводная таблица по оценке влияния на изменение технических характеристик.

Изменения должны быть иллюстрированными рисунками или чертежами конструкции до и после изменения.

Таким образом, после получения сертификата типа внесение мажорных изменений в конструкцию осуществляется посредством процедуры CSSD с последующим оформлением проекта карты утверждения летной годности Airworthiness Approval Sheet (AAS). Документ AAS фактически является декларацией, подтверждающей, что разработчик продемонстрировал соответствие (CS-E+CS-34+CRI) для документов CSSD, СТ, CR и т.д. После заполнения карты AAS запускается процесс внесения изменений в конструкторскую документацию с использованием процедуры Global Engineering change process Post – certification (CAD) и обновляется ремонтная документация. Параллельно проводится выпуск ОКПИ. После этого проводится окончательное утверждение AAS в EASA. Завершающим процессом является выпуск сервисного бюллетеня Service Bulletin (SB). Этот документ, утвержденный EASA, направлен на поддержание летной годности, путем изменения конструкции, ремонта, технического обслуживания для улучшения летно-технических характеристик, надежности и безопасности.

3. Продление летной годности в эксплуатации

Двигатель поставляется в эксплуатацию с формуляром, который является основным документом, в котором регистрируется наработка и все виды работ, выполняемых при его техническом обслуживании. Дополнительно к формуляру на двигатель оформляется Form 1 EASA.

Так как изменения типовой конструкции оказывают влияние на характеристики двигателя, детали и сборочные единицы, поставляемые заказчиком или на заменяемые детали, то необходимо обновление инструкций по продлению летной годности и, в первую очередь, эксплуатационной документации. Эксплуатационная документация - это документация, регламентирующая летную и техническую эксплуатацию двигателя, включая его техническое обслуживание. Она включает эксплуатационные ограничения, процедуры и рекомендации, содержащие: руководства по технической эксплуатации, регламентам технического обслуживания, эксплуатационные бюллетени, директивы летной годности, каталоги деталей и сборочных единиц, руководства по ремонту, ведомости комплекта запасных частей, инструментов и приспособлений.

Основной для разработки и доработок эксплуатационной документации является информационный стандарт на обслуживание авиационной техники (ATA), регламентирующий требования к эксплуатационной документации и к ее оформлению.

Вся эксплуатационная и ремонтная документация проходит через одобрение EASA.

Сервисный бюллетень направляется эксплуатанту с сопроводительным листом. В нем указывается тема, номер, редакция. В эксплуатационном бюллетене включены разделы: применимость и описание. Указывается серийный номер двигателя, с которого вводится изменение. Технические данные включают разделы, взаимозаменяемость, трудоемкость, вес, основание. Описание темы сервисного бюллетеня содержит анализ причин отклонения, описание усовершенствования, обоснование, ссылки на задействованную техническую документацию, информацию о материалах и инструкции по выполнению проверок, иллюстрации конструкции до и после изменения.

Заключение

1. Ускорение сроков сертификации достигается путем совмещения процессов доводки и сертификации на основе использования системы управления конфигурацией и успешным проведением сертификационных испытаний с первого раза.

2. Управление конфигурацией сопровождается различными процессами изменения технического определения конструкции на всех этапах жизненного цикла и всегда имеет своей целью получение и сохранение сертификата типа.

Литература

1. Авиационные правила, часть 33 (АП-33). Нормы летной годности двигателей воздушных судов [Текст]. – Межгосударственный авиационный комитет (МАК), 2004. – 52с.

2. Certification Specifications for Engines (CS-E) [Text]. – European Aviation Safety Agency (EASA), 2007. – 193 p.

3. Federal Airworthiness Regulations (FAR-33) – [Text], 2007. – 48 p.

4. IR-21. Сертификация воздушных судов, их компонентов и комплектующих изделий, организаций по разработке и производству [Текст], 2003. – 83с.

Поступила в редакцию 31.05.2012

В.Т.Шепель. Керування льотною придатністю авіаційного ГТД

Роздивляється метод підтримки нескінченної льотної придатності авіаційного двигуна під час життєвого циклу. Докладно роздивляється Європейська система сертифікації. Подано основи формування сертифікаційного базису. Викладена система керування конфігурацією авіаційного двигуна під час життєвого циклу. Роздивляється метод виконання сертифікаційних випробувань, особливості оформлення запиту на сертифікаційні випробування та черговість виконання робіт з сертифікаційними відхиленнями на основних етапах життєвого циклу двигуна.

Ключові слова: *льотна придатність, авіаційний двигун, сертифікація, керування конфігурацією.*

V.T.Shepel. Aircraft engine airworthiness management

The aircraft engine continuous airworthiness method in the course of the life cycle has been reviewed. The European Certification System has been reviewed in detail. The certification basis development principles have been provided. The system of aircraft engine configuration management in the course of the life cycle has been described. The method of certification tests execution, peculiarities of Certification Test Requests execution and the order of certification deviations handling at the main steps of the engine life cycle has been reviewed.

Keywords: *airworthiness, aircraft engine, certification, configuration management.*