

УДК 681.518.5+681.5.09

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ НОРМИРОВАНИЯ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ЕЕ ОЦЕНКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ИСПЫТАНИЯХ

Оглоблин С.П., Петров А.Н., к.т.н., с.н.с.

АО "Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова"

Рассмотрены проблемы в областях нормирования контролепригодности летательных аппаратов в общих технических требованиях и тактико-технических заданиях на их разработку, обеспечения соответствия этим требованиям при проектировании и испытаниях, а также возможные пути решения этих проблем.

Наиболее общим требованием к летательному аппарату (ЛА) является выполнение заданных целевых функций при обеспечении высокого уровня безопасности полетов и приемлемой стоимости жизненного цикла (ЖЦ). При выборе облика и конструировании ЛА выполняется технико-экономическое обоснование разрабатываемого проекта. Оценка технико-экономических показателей опирается как на основные летные и боевые характеристики ЛА, а также на его эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ), которые включают безопасность, надежность, контролепригодность (КП), эксплуатационную технологичность [1].

Традиционно, при нормировании и обеспечении КП как свойства, характеризующего приспособленность ЛА к контролю его технического состояния заданными средствами эксплуатационного

контроля, используют показатели полноты контроля и глубины поиска отказов по ГОСТ 19919 [2]:

Полнота контроля - показатель методической составляющей достоверности контроля технического состояния объекта контроля, характеризующий возможность выявления отказов при выбранном методе контроля технического состояния

$$\eta = \frac{1-P(A_K)}{1-P(A)} \approx \frac{\lambda_K}{\lambda_0},$$

где $P(A)$ - вероятность безотказной работы объекта контроля,

$P(A_K)$ - вероятность безотказной работы контролируемой части объекта контроля,

λ_0, λ_K - соответственно интенсивности отказов объекта контроля и его контролируемой части.

Глубина поиска отказа до конструктивно-съёмного элемента – показатель, характеризующий возможность поиска элемента в составе объекта контроля (например, функциональной системы ЛА), отказ которого привел к неработоспособному состоянию объекта

$$\eta = \frac{1-P(A_{km})}{1-P(A)} \approx \frac{\lambda_{km}}{\lambda_0},$$

$P(A_{km})$ - вероятность безотказной работы контролируемой части изделия как объекта контроля, где поиск отказов производится с подробностью до m конструктивно-съёмных элементов (КСЭ),

λ_{km} - интенсивность отказов контролируемой части объекта контроля, в которой поиск отказов производится с подробностью не хуже, чем до m КСЭ.

При нормировании и оценке стоимости ЖЦ ЛА учитывают затраты на стадиях создания и эксплуатации ЛА. Затраты на контроль

и восстановление АТ включают составляющие по локализации отказа до КСЭ, замене отказавшего КСЭ, контролю работоспособности объекта после восстановления.

Для контроля технического состояния ЛА используются средства эксплуатационного контроля, общие требования к которым по составу решаемых задач рассмотрены в авиационном стандарте [3]. При решении этих задач могут использоваться разные виды средств контроля (встроенные - ВСК, бортовые автоматизированные - БАСК, наземно-бортовые - НБСК и наземные средства - НСК).

БАСК и НБСК с использованием возможностей ВСК выполняют сбор параметрической информации и ее регистрацию на борту для оценки технического состояния ЛА. Между полетами в наземных условиях с применением НСК (контрольно-проверочная аппаратура, измерительные приборы общего назначения, методы и средства неразрушающего контроля) выполняется полный контроль технического состояния. Использование НСК обусловлено необходимостью углубленной оценки технического состояния отдельных систем и агрегатов, особенно, не имеющих ВСК и не охваченных контролем с применением БАСК и НБСК.

Для выполнения требований тактико-технического задания (ТТЗ) к ЛА в части КП разработчик ЛА вырабатывает концепцию применения средств эксплуатационного контроля как часть концепции системы технической эксплуатации вновь создаваемого ЛА. При этом учитывают назначение и особенности применения ЛА, условий базирования, принципы технического обслуживания (ТО), требования к другим ЭТХ (надежности, отказобезопасности, эксплуатационной

технологичности). По существу решается задача оптимизации уровня КП ЛА и его систем по критерию эксплуатационных расходов. Это обусловлено тем, что усложнение средств контроля может приводить к снижению эксплуатационных расходов, но при достижении определенного уровня сложности таких средств эксплуатационные расходы вновь начинают расти.

Таким образом, показатели КП при их нормировании и обеспечении подлежат комплексному рассмотрению с показателями других ЭТХ и стоимости ЖЦ ЛА в целом. Эти работы надо планировать в рамках анализа логистической поддержки ЛА, начиная с ранних этапов проектирования (подробнее см. работу [4]). Тогда формирование конструктивных решений по КП будет основано на результатах как реализации требований по назначению ВС (летных свойств, функциональности бортовых систем), так и анализа надежности, последствий прогнозируемых отказов КСЭ и выбора необходимых работ по контролю при ТО. Этот концептуальный подход проиллюстрирован на рисунке ниже.



Концепция увязки требований к КП и другим ЭТХ ЛА

Для достижения заданных уровней ЭТХ, включая КП, формируется Комплексная программа обеспечения ЭТХ ЛА (может быть и отдельная Комплексная программа обеспечения эксплуатационного контроля), где для каждого этапа разработки ЛА планируются работы с выпуском отчетных документов, содержащих требования, методы их реализации в конструкции ЛА, технологии контроля технического состояния, поиска и локализации отказов до КСЭ, результаты оценки показателей КП.

В настоящее время при задании в ТТЗ на ЛА требований к КП приняты следующие принципы:

1 Значение полноты контроля всех возможных видов отказов всеми средствами и методами контроля (включая органолептический контроль) при использовании ЛА должно быть равно 1.

2 Значение полноты контроля бортовыми средствами отказов, приводящих к особым ситуациям в полете и не отнесенных к категории практически невероятных, должно быть равно 1 (для надлежащего информирования летного экипажа).

3 Глубина поиска отказов должна быть до КСЭ при использовании всех предусмотренных средств контроля.

Целесообразно уже на стадии создания ЛА выявлять КСЭ, отказы которых имеют очень малую вероятность их возникновения (практически невероятны). В этих случаях размещать в составе КСЭ ВСК или датчики для оценки технического состояния экономически необоснованно, если можно оценивать состояние КСЭ органолептически или с применением НСК в процессе ТО. Однако, могут иметь место и такие виды отказов, для выявления которых надо

иметь ВСК или НБСК, либо БАСК. Конструктивные решения должны базироваться на анализе степени влияния отказов на безопасность полета и сложности осуществления того или иного метода контроля.

Есть и еще один важный фактор. Опыт проведения работ по оценке КП и выбору средств эксплуатационного контроля за последние десятилетия показал, что сложившаяся система требований к КП сформирована для аналоговой авиационной техники (АТ) и не в полной мере отвечает современному уровню цифровых технологий, используемых при создании и эксплуатации ЛА.

В современных ЛА применяются цифровые кибер-физические системы, в которых большинство функций реализуется с использованием бортовых вычислителей вплоть до полной программной реализации ряда систем (без применения физических элементов, необходимых именно для конкретной системы).

С учетом этого обстоятельства, необходимость и достаточность охвата эксплуатационным контролем является результатом оптимизации конструкции ЛА при ее создании. Это связано с тем, что для цифровых комплексов принципиально возможно обеспечить 100% контроль, но необходимость этого нуждается в специальном технико-экономическом анализе уже на ранних этапах создания ЛА. Соответственно, встает вопрос о совершенствовании принципов нормирования КП, о корректировке номенклатуры используемых показателей КП и развитии методов их обеспечения и контроля.

Ниже приведены примеры требований к КП из ТТЗ на отдельные типы ЛА.

Устаревшая система требований к КП для самолета Ил-76МД-М

1 Обслуживание и ремонт самолетов, в основном, должны осуществляться по "Техническому состоянию" с контролем уровня надежности.

2 Разработка средств контроля самолета и проведение мероприятий по обеспечению его контролепригодности должны проводиться в соответствии с требованиями ОТТ ВВС-86 и ГОСТ 18371 [5].

Представленный пример содержит требования по КП и средствам эксплуатационного контроля очень общего характера и не задает конкретных уровней показателей КП.

В числе возможных показателей КП, которые могли бы заменить или дополнить традиционно используемые, можно назвать:

- полнота контроля видов отказов систем и их элементов, непосредственно приводящих к особым ситуациям в полете;
- частота неподтвержденных отказов;
- среднее время поиска отказа.

Усовершенствованная система требований к КП для самолета Ту-214 в одном из исполнений для государственной авиации:

- полнота контроля отказов изделий - не менее 0,95;
- глубина поиска отказов в изделии на уровне блоков ($\Gamma_{по}$) с применением ВСК - не менее 0,9;
- вероятность ложной информации по результату контроля с применением ВСК ($P_{ли}$) - не более 0,01;
- вероятность невыдачи информации о результате контроля с применением ВСК ($P_{ни}$) - не более 0,01.

В отечественной практике работ по КП практически не используется такой показатель как доля неподтвержденных съемов оборудования (No Fault Found – NFF) из-за недостоверной информации об отказе. Этот показатель характеризует вероятность появления сообщения об отказе и, как правило, демонтажа КСЭ, но с последующим подтверждением его работоспособного состояния. Особенно много таких событий в начальный период эксплуатации ЛА - до 50%. Это связано с тем, что в сложных бортовых комплексах сигнализация ВСК об отказе является лишь конечным этапом в длинной цепочке операций в вычислителях и связях систем, где нередко происходит искажение информации. Доля затрат на ТО вследствие отказов, выявленных в полете, но не подтвержденных на земле, составляет до 20% от общих затрат на восстановление АТ [6]. Например, при установившейся длительной эксплуатации самолета Як-42 число отказов, обнаруженных в полете, но не подтвержденных на земле, достигало в среднем 12% при максимальном их числе в следующих системах:

- средства самолетовождения – 28%;
- пилотажно-навигационные комплексы – 21%;
- радиосвязное оборудование – 22%;
- бортовые устройства регистрации – 28%;
- система автоматического управления – 23%.

Приведенные доли неподтвержденных отказов от общего их числа по каждой группе систем и есть уровень NFF по зарубежной терминологии. В начальном периоде эксплуатации число таких отказов может быть велико. Например, по самолету Ил-96-300 среднее число

отказов, выявленных в полете, но не подтвержденных на земле, достигало 35%. При этом их максимальное количество приходилось на следующие бортовые системы:

- система автоматического управления – 80%;
- радионавигационные системы – 55%;
- радиоаппаратура опознавания – 60%.

Еще одна проблемная область связана с тем, что ГОСТ 19838 [7] регламентирует представление разработчиками АТ документа "Характеристика контролепригодности (ХКП)". Предусмотренные требованиями данного ГОСТ форма и содержания ХКП устарели и трудно применимы для цифровой АТ. Также имеют место проблемы формирования ХКП, поскольку для этого нужен обмен важной технической информацией (ноу-хау) между поставщиками покупных и финальных изделий, что затруднено при изменившемся законодательстве России (по сравнению с СССР).

По результатам рассмотрения материалов, представляемых разработчиками ЛА для их передачи на государственные испытания в части КП и средств эксплуатационного контроля, можно отметить следующие недостатки:

1 Требования по организации разработки средств эксплуатационного контроля не выполняются полностью или частично.

2 Расчетные оценки для подтверждения выполнения заданных значений показателей КП не приводятся.

3 ХКП ЛА и его систем не представляются.

4 Не оцениваются фактические значения трудоемкости контроля работоспособности систем, поиска и устранения отказов, а также показатели глубины поиска отказов по данным ВСК и БАСК до КСЭ.

5 Сведения о выявленных во время предварительных испытаний отказах не систематизируются, не анализируются и не представляются.

В настоящее время для оценки на этапах создания ЛА показателей КП используют устаревшие выпуски Руководств по испытаниям авиационной техники (РИАТ): раздел 6.2.7.1, выпуск 5 [8] (проектирование) и раздел 6.2.7.1, выпуск 6 [9] (предварительные испытания). Эти выпуски РИАТ разработаны в прошлом веке и базируются на принятых тогда методах определения полноты и глубины поиска отказов по статистическим соотношениям контролируемых и не контролируемых отказов. Для современных ЛА предварительные испытания, как правило, имеют небольшой объем, и по их результатам разработчик ЛА не может подтвердить достижение заданных значений показателей КП. Соответственно, методики испытаний в части КП должны быть доработаны для уточнения номенклатуры показателей и внедрения методов их оценки при небольших объемах летных испытаний и событий отказов.

Новые разработки АТ показывают, что бортовое оборудование насыщается вычислительными устройствами. В соответствии с принятой технологией создания АТ они проходят все этапы, включая стендово-лабораторные испытания. При этом в проектах ЛА отсутствуют или плохо описаны алгоритмы контроля, используемые в составе вычислителей. Эти алгоритмы следует проверять в рамках лабораторно-стендовых испытаний, а затем и при летных испытаниях.

В международной практике такие задачи решают путем использования компьютерного и полунатурного моделирования, но применительно к обеспечению и контролю КП ЛА такие работы в отечественной практике не проводятся или проводятся в ограниченном объеме.

Имитационное моделирование, например, позволяет в произвольный момент времени работы испытуемого программного обеспечения вносить искажения в ячейки памяти, в результат вычислений процессора, в переадресацию цифровых слов и т.д. Тем самым имеется возможность для оценки правильности работы алгоритмов контроля за вычислительным процессом и влиянием отказов аппаратной части испытуемого устройства.

Заключение

1 Требования, задаваемые в ТТЗ на ЛА в части КП по номенклатуре показателей и принципам их нормирования не отвечают современному технологическому уровню АТ.

2 Объем проработки конструктивных решений и содержание конструкторской документации в отношении КП и средств эксплуатационного контроля нуждаются в корректировке, поскольку традиционные методы расчета показателей КП и их оценки при испытаниях разработаны для аналоговых систем и устарели.

3 Для обеспечения КП все шире применяемых кибер-физических систем в составе ЛА необходимо существенное расширение использования методов компьютерного моделирования систем и их элементов.

4 Показатели КП, основанные на вероятностных характеристиках ЛА и его систем, не могут быть подтверждены по результатам

заводских и даже государственных испытаний из-за ограниченного объема испытаний. Окончательное подтверждение показателей целесообразно выполнять путем интеграции результатов моделирования, испытаний и подконтрольной эксплуатации в рамках концепции управления ЖЦ ЛА от момента задания требований и вплоть до утилизации данного типа ЛА.

5 Современный уровень цифровых технологий в создании ЛА требует новых подходов к нормированию, обеспечению и оценке КП, переработке комплекса РИАТ по КП и совершенствованию нормативной правовой базы в области управления ЖЦ АТ.

Список использованных источников

1 ГОСТ В 23743-88 Изделия авиационной техники. Номенклатура показателей безотказности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности.

2 ГОСТ 19919-74 Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Термины и определения.

3 ОСТ 1 0242-89 Система средств эксплуатационного контроля пилотируемых летательных аппаратов. Общие требования.

4 Анализ логистической поддержки: теория и практика / Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.Н., Петров А.В. и др. - М.: Информ-Бюро, 2014. - 260 с., ил.

5 ГОСТ 18731-83 Основные положения организации работ по обеспечению контролепригодности и созданию системы средств контроля.

6 Разработка и внедрение общих требований к эксплуатационно-техническим характеристикам перспективных

воздушных судов / А.Н. Петров, В.А. Полтавец, А.И. Свиначук и др. // Науч.-техн. сб.: Вопр. авиац. науки и техн. Сер.: Летн. испытания летат. апп. и компл. авиац. оборуд. Безопасность и надежность авиац. техн., 2012. - № 252. - С. 19-26.

7 ГОСТ 19838-82 Характеристика контролепригодности изделий авиационной техники. Правила изложения и оформления.

8 Руководство по испытаниям авиационной техники. Раздел 6.2.7.1. Выпуск 5. Летательные аппараты. Оценка контролепригодности авиационной техники на этапах проектирования. Типовые методики. Приложение к ОТТ 4.2.1(1)-90, 2000.

9 Руководство по испытаниям авиационной техники. Раздел 6.2.7.1. Выпуск 6. Летательные аппараты. Оценка контролепригодности авиационной техники на этапах летно-конструкторских и государственных испытаний. Типовые методики. Приложение к ОТТ 4.2.1(1)-89, 1992.