

Компенсация негативных последствий от применения неаутентичных агрегатов в авиационных электроэнергетических системах нового поколения

А. А. РЫБИН, генеральный директор ОАО «Агрегатное конструкторское бюро „Якорь“»



Неаутентичные, или контрафактные, изделия становятся причиной снижения качества и возникновения необъяснимых отказов эксплуатируемых систем и агрегатов, что, в свою очередь, снижает уровень безопасности полетов воздушных судов. На решение проблемы направлена параметрическая оценка качества средств автоматизированного эксплуатационного контроля систем электроснабжения воздушных судов гражданской авиации, осуществляемая с учетом неопределенности характеристик контрафактных комплектующих.

Термин «неаутентичные (контрафактные) агрегаты (изделия)» обозначает реально существующие и вполне работоспособные промышленные продукты, характеристики которых достоверно неизвестны или не соответствуют параметрам, заявленным в технических документах. По существу это «фальшивые изделия», которые по тем или иным причинам применяются сознательно или по формальным признакам в сертифицированных технических системах.

Причинами использования неаутентичных изделий в сертифицированных по качеству технических системах являются дефицит или высокая цена оригинальных образцов, организационные трудности производственных процессов по обеспечению эксплуатации технических систем и т.п.

Существует противоречие между высокими требованиями к техническим характеристикам сложных электроэнергетических и радиоэлектронных систем, являющихся технической основой обеспечения безопасности полетов, и эксплуатационными требованиями. Меры по реализации эксплуатационной поддержки систем объектов авиационных технических систем (АТС) в течение жизненного цикла недостаточны, что обусловлено прежде

всего отсутствием методологической (и теоретической) основы обеспечения эксплуатационных технологий и процессов как на этапах разработки и изготовления АТС, так и на этапе производства полетов в гражданской авиации (ГА) [2,3].

Ситуация, возникающая с использованием в технике контрафактных запасных изделий — например, при эксплуатации авиационного и железнодорожного транспорта — приводит к необходимости решения новых задач в теории надежности. К ним относятся разработка теории и методик выбора и хранения авиационного запасного имущества с использованием новых подходов, получивших развитие в теории надежности систем с неопределенными (случайными) параметрами на основе схем оценивания энтропии структуры АТС.

Отмеченные аспекты проблемы контрафакта являются, как можно полагать, характерными для различных видов транспорта, т.е. присущи не только гражданской авиации, но и железнодорожному, автодорожному и водному транспорту. Наиболее острой рассматриваемая проблема оказывается на стадиях технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) техники и агрегатов. В гражданской авиации, например, на стадиях ТО и Р воздушных судов выяв-

лены особые случаи так называемого, «каннибализма» (по терминологии США) [4], когда для технического обеспечения обязательных полетов (например, по признаку регулярности полетов) в процессе ремонта воздушных судов (ВС) на стадиях ТО и Р необходимые запчасти и агрегаты снимались с других ВС, оставшихся на стоянках без применения.

Острота указанной проблемы привела к разработке методов и способов компенсации последствий от применения контрафакта: были созданы новые технологии ТО и Р, в которых диагностика отказов (прогнозируемых или фактических) проводится с применением информационных систем, обеспечивающих мониторинг состояний комплектующих изделий и комплексов в течение жизненного цикла (ЖЦ). Например, изобретены способы и инструменты для надежной маркировки изделий («радиометки» и пр.), осуществляется мониторинг жизненного цикла каждого изделия из состава АТС, разработаны и применяются особые стратегии ТО и Р типа MSG (№ 1, № 2, № 3) для обеспечения полетов ВС типа «Аэрбас», «Боинг» и отечественного ВС класса Ан-148.

Однако проблема оценки снижения качества систем и комплексов систем до конца не решена. Дело в том, что методы оценки качества базируются на положениях классической теории надежности, в которой главным принципом является существование достоверной и состоятельной статистики по истинным событиям, чего не удается обеспечить в том случае, если контрафакт не обнаружен. Поэтому возможные решения предлагается находить на основе трактовки показателей качества систем

как параметрических зависимостей перечня избранных показателей свойств изделий от некоторого случайного фактора контрафакта в условиях неопределенности того или иного вида. Другой путь предполагает применение особых моделей «стареющих» элементов [3] и др. Данный подход был применен при изучении качества электроэнергетических систем [1] для ВС в ГА.

Постановка задачи

Разработка систем электроснабжения и электропитания для различных технических объектов в ГА в настоящее время характеризуется переходом к эксплуатации авиационной техники по состоянию. Существуют документы типа ОСТ: ОСТ 1 027776-2001 — «Эксплуатация техническая авиационной техники по состоянию»; ОСТ 1 02786-2008 — «Типовые условия поставки и послепродажного обеспечения эксплуатации авиационной техники гражданского назначения. Общие требования»; «Положение об установлении и увеличении ресурсов и сроков службы газотурбинных двигателей военной авиации, их агрегатов и комплектующих» и др. На основе подобных документов могут быть созданы комплексы АТС, качество которых должно обеспечиваться путем достижения нормативных показателей надежности (коэффициента готовности, ремонтпригодности, наработки до первого отказа или ресурса и т.п.). Это относится как к одиночным изделиям, так и к множествам образцов АТС, образующих комплексы. Реализация принципов диагностики состояния образцов АТС третьего поколения (авиационных двигателей и других объектов) осуществляется с применением модулей информационных систем, предназначенных для распознавания негативных ситуаций. Таким образом, в системах третьего поколения использование перспективных технологий позволяет достичь высокого уровня качества АТС для отдельных компонентов и системы в целом в течение ЖЦ.

Однако поставка и включение в контур АТС неаутентичного комплектующего элемента вносит неопределенность в значение показателя качества сертифицированного электроэнергетического блока. В рамках положений теории надежности эта неопределенность проявляется в том, что, например, не известны фактические остаточные ресурсы изделия, не обозначены стадии жизненного цикла изделия или комплекса АТС в целом.



Рис. 1. Процесс диагностики отказов

Новизна нашего подхода заключается в том, что мы предлагаем использовать методы исследования параметрических систем.

Эксплуатация АТС по состоянию при контроле уровня надежности (по [2]) по сравнению с расчетным уровнем по определенным признакам свойств АТС имеет ряд особенностей, связанных с методами оценки достигнутого уровня безотказности при эксплуатации. Признаки АТС образуют матрицу, типа «объект — свойство» или «объект — признак», включающую в себя показатели свойства исследуемой выборки результатов эксплуатации.

В [1] представлены интегральные оценки качества электроэнергетических агрегатов, представляющие собой отклонение текущего значения параметра объекта от среднего значения стандартного параметра, вычисляемого по евклидовой метрике (евклидова расстояния или его квадрата). При независимости текущих и стандартных (регламентируемых) оценок параметров элементов объектов производится дополнительное экспертное взвешивание значимости оценки уровня надежности с учетом закона распределения характеристик, рассматриваемых при контроле работоспособности изделий.

Процесс диагностики отказов в рассматриваемых системах представлен на рис. 1. При отказах датчика состояния обязательно существует корреляция в отклонении последовательно вычисленных разностей, но их статисти-

ческие характеристики не известны. В связи с этим приходится применять косвенные детерминированные методы оценки близости наблюдаемых результатов диагностирования по принципу Махаланобиса — Тагучи из [1]. Особенность этого подхода состоит в том, что априорное знание законов распределения случайных величин не обязательно.

Системы электроэнергетики нового поколения, разработанные и производимые ОАО «АКБ „Якорь“», обладают характеристиками, обеспечивающими их эксплуатацию по состоянию как до безопасного отказа, так и по уровню надежности. Система встроенного контроля — двухуровневая.

Особенности схемы диагностирования (рис. 1) как продукта современных информационных технологий позволяют корректно решать задачу по компенсации последствий для АТС, возникающих от содержащихся в ней контрафактных изделий, параметрическим методом.

В рассматриваемой схеме эксплуатации системы по состоянию до безопасного отказа используются не менее двух каналов (один из них резервный). Встроенная система контроля и защиты обеспечивает выдачу сигналов в централизованную бортовую систему контроля и/или на отдельные индикаторы и сигнализаторы. Корпус изделий имеет исполнение, позволяющее в случаях разрушения, задымления, локального возгорания внутренних элементов локализовать отказ внутри корпуса.



Схема решения

Параметрический метод оценки возрастания риска возникновения опасных событий в системе и определения тренда снижения общего показателя нормативной надежности АТС предлагается использовать по алгоритмам из [5] для двумерной модели риска как меры количества опасности в прогнозируемом состоянии.

При этом принимается гипотеза, что в первом приближении неизвестные «по истории цикла жизни» элементы должны рассматриваться по крайней мере как стареющие, т.е. с динамическими коэффициентами опасности отказов, не являющиеся константами. Это может позволить уже объективно, с научных позиций определить необходимый объем резерва запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) для компенсации падения уровня надежности.

В связи с этим анализ результатов известных работ, касающихся выбора назначаемых ресурсов заменяемых элементов стареющего типа, предлагается использовать при длительной эксплуатации сложных технических систем. Идеи, лежащие в основе этих работ, первоначально были изложены в [1–3] и развиты в различных прикладных направлениях [4] при решении частных задач из [6]. Однако во всех этих работах отсутствует рассмотрение вопроса о выборе запасных элементов в процессах замены на основе взаимосвязанных фаз обслуживания и ремонта с учетом диагностики отказов, восстановления и т.п.

Если принять тезис о том, что включение контрафакта в систему вносит неопределенность в структуру функциональной схемы АТС, то при определении показателей качества необходимо рассматривать набор нескольких

структур вместо одной. При анализе подобных наборов структур может быть применен метод оценки энтропии в системе как меры количества неопределенности. Неопределенность значения контрафакта может трактоваться как деформация коэффициента опасности (интенсивности отказа λ) в зону ускоренного старения, т.е. к

$$\lambda \rightarrow \lambda^*(t), t \in (t^*, T),$$

где t^* — момент времени начала возрастания (гипотеза Е. Ю. Барзиловича [3]). Следствием этого будет возрастание потребного объема ЗИП в системах с диагностикой текущего состояния [3].

В параметрических схемах может быть использован либо метод усреднения показателей надежности типа [2] по $\tau_{\text{ок}}$ с заданной априорно (по статистическим или экспертным данным) функцией плотности распределения вероятности $f_k(\tau_0)$, либо игровые методы. Такой подход позволяет оценивать риски возникновения авиапроисшествий по причине использования контрафактных изделий, в частности по причине установки контрафактных изделий в электроэнергетические комплексы, радиоэлектронные и силовые системы самолетов и в оборудование систем управления воздушным движением.

Для изучения влияния свойств контрафактных изделий на надежность авиационной техники и безопасность полетов необходимо учесть, что опасность отказа этого элемента вводится как для стареющего элемента с априорной неизвестной информацией о «точке начала отсчета» в виде плотности распределения вероятности. Подобная расчетная схема предложена для случая, когда исходная система (по надежности) сводится к параметрической с параметром, от которого ведется отсчет интервала старения. Основу при

этом составляют схемы применения моделей рисков для оценки влияния на уровень безопасности полетов априорно неизвестных характеристик надежности контрафактных комплектующих изделий.

Положение о представлении контрафактного изделия через модель стареющего элемента вполне адекватно реальности. При этом можно разработать процедуру раннего обнаружения факта попадания контрафактного изделия на склад ЗИП. В связи с этим применительно к контрафактным (неаутентичным) изделиям могут быть разработаны модели надежности рассматриваемых изделий на основе разных зависимостей интенсивности отказа от времени. Предложенный подход может применяться для предварительного прогнозирования возникновения опасных сценариев развития событий в авиационных технических комплексах (АТК).

На сегодняшний день появилась более обоснованная концепция внедрения упорядоченного обслуживания воздушных судов иностранного производства, эксплуатирующихся на российских авиалиниях. В связи с этим возникают новые научные задачи, связанные с разработкой методик расчета, снабжения и хранения запасного авиационного имущества при минимальных эксплуатационных затратах и при обеспечении бесперебойной эксплуатации и высокой безопасности полетов воздушных судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин А. В., Мусин С. М., Рыбин А. А. Самолетостроение // *Авиационная промышленность*. — № 2. — 2011. — С. 7–12.
2. Аронов И. З., Александровская Г. Г. и др. *Безопасность и надежность технических систем*. — М.: Логос, 2008.
3. Барзилович Е. Ю. *Продление ресурсов авиационных систем в условиях фиксированных доходов предприятий* // *Научный вестник МГТУ ГА*. — № 45 — М., 2001. — С. 7–21.
4. Гипич Г. Н. *Концепция и модели прогнозирования и снижения рисков при обеспечении летной годности воздушных судов гражданской авиации*. — МГУ. — М.: ТЕИС, 2005. — С. 317–327.
5. Куклев Е. А. *Оценивание безопасности сложных систем на основе моделей рисков*. // *Труды 15-й Междунар. научн. конф. «Безопасность сложных систем*. — ИПУ РАН, МЧС. — М., 2007. — С. 93–97.
6. Далецкий С. В. *Проектирование системы технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации*. — М.: Изд-во МАИ, 2001.