Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"
Научная статья
Original article
УДК 004.89:629.7.05

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИФРОВОГО БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

THE METHOD OF PROGNOSTICS THE TECHNICAL STATUS OF THE AIRCRAFT DIGITAL ON-BOARD EQUIPMENT

Преображенский Леонид Алексеевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории, Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», Россия, г. Москва;
Процкая Лидия Геннадьевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», Россия, г. Москва

Preobragenskij Leonid, candidate of Technical Sciences, Head of Laboratore, Federal Autonomous Institution «State Research Institute of Aviation Systems», Russia, Moscow
Protskaya Lidia, candidate of Technical Sciences, Senior of Sciences, Federal Autonomous Institution «State Research Institute of Aviation Systems Russia, Moscow

Аннотация: в статье предлагается метод прогнозирование технического состояния бортового радиоэлектронного (цифрового) оборудования летательного аппарата (ЛА). Метод базируется на мониторинге двух основных процессов – оценке естественного старения цифрового оборудования в зависимости от условий эксплуатации и мониторинге параметров, отражающих деградационные процессы

цифрового оборудования. Определены диагностические параметры и методы их обработки.

Abstract: the article proposes a method for prognostics the technical status of the aircraft digital on-board equipment. The method is based on monitoring of two main processes – estimation of natural aging of digital equipment depending on operating conditions and monitoring of parameters showing degradation processes of digital equipment. Diagnostic parameters and methods of their processing are determined.

Ключевые слова: бортовое радиоэлектронное оборудование, прогноз технического состояния, деградационные процессы цифрового оборудования.

Keywords: avionics, prognostics the technical status, degradation processes of digital equipment.

Введение. В настоящее время все большую актуальность приобретают методы прогнозирования технического состояния бортового оборудования (БО) и агрегатов ЛА. Такие методы необходимы для подсчета рисков в системе управления безопасностью полетов. Внедрение этой системы предполагает Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации, введенное в действие в России 14 ноября 2013 года [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В создании и внедрении методов прогнозирования состояния БО ЛА заинтересованы эксплуатанты, стремящиеся к снижению расходов и к переходу обслуживания ЛА по состоянию.

Интерес к методам прогнозирования имеется у разработчиков БО, для которых значимы оценки факторов, влияющих на долговечность работоспособности БО. Эти данные могут быть использованы при создании и модернизации БО.

На современном ЛА установлено множество датчиков и регистрируются тысячи параметров. Разработчики ЛА готовы устанавливать дополнительные датчики и увеличивать объем данных регистрируемых в полете на борту. Существует проблема в недостаточной эффективности анализа регистрируемых данных, проводимой для диагностики и прогнозирования состояния БО ЛА [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В настоящее время существует два основных подхода к разработке алгоритмов прогноза технического состояния БО ЛА. Первый базируется на детальном анализе репрезентативного набора параметров, основанного на опыте эксплуатации системы и знании физических процессов происходящих в ней. Примером успешного внедрения такого подхода являются алгоритмы прогноза технического состояния двигателей ЛА [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. В этом случае разработчики алгоритмов прогноза определяют потребные наборы наблюдаемых параметров и требования к ним.

Второй подход основывается на анализе большого потока данных на предмет поиска отклонений от обычного поведения системы. В этом случае алгоритмы прогноза обрабатывают наборы параметров, сформированные интуитивно разработчиками систем контроля ЛА и без учета таких значимых характеристик как задержка в поступлении информации, точность информации и других. Однако опыт показывает эффективность этих методов [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

По нашему мнению, необходимо развивать оба эти подхода. Наш интерес лежит в сфере создания алгоритмов прогноза состояния цифрового БО ЛА путем детального изучения поведения системы под воздействием внешних условий.

В настоящее время, несмотря на то, что все большее количество БО ЛА становится цифровым, и доля влияния электронного БО на безопасность эксплуатации ЛА значительно возрастает, в России пока ищут подходы к прогнозированию технического состояния электронного (цифрового) БО ЛА. За границей работы на эту тему проводятся в Крэнфилдском университете [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В данной статье предлагается метод прогнозирования технического состояния электронного (цифрового) БО ЛА.

1 Основные положения метода прогнозирования технического состояния цифровых бортовых блоков

Современные системы мониторинга состояния БО ЛА являются иерархическими и включают встроенные средства контроля (ВСК) блоков, ВСК

систем, бортовую автоматизированную систему контроля (БАСК). Данные контроля и контролируемые параметры регистрируются на бортовые накопители полетной информации для послеполетного анализа [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Методы прогнозирования технического состояния БО ЛА являются дальнейшим развитием методов мониторинга технического состояния БО ЛА и могут быть реализованы на иерархической структуре бортовой системы мониторинга.

Основу прогнозирования технического состояния цифрового БО ЛА составляют методы прогнозирования для конкретных классов электронных блоков. В данной работе не рассматривается прогнозирование цепочек отказов, то есть ситуаций, когда отказ одного блока приводит к нарушению условий эксплуатации другого и может вызывать его отказ.

Прогнозирование технического состояния цифрового блока предлагается реализовать на базе мониторинга двух основных процессов – оценке естественного старения блока в зависимости от условий эксплуатации и мониторинге параметров, отражающих его деградационные процессы. На основе этих данных формируется интегральная оценка уровня деградации блока и вырабатывается решение по корректирующим действиям. На рисунке 1 представлена схема организации прогнозирования технического состояния цифрового блока.

Рис. 1. Схема организации прогнозирования технического состояния цифрового блока

Алгоритмы прогнозирования состояния блока могут быть реализованы, как на борту ЛА (в блоке или в бортовой системе контроля), так и в наземной системе по данным, зарегистрированным в полете. Возможен комбинированный вариант, когда часть вычислений осуществляется на борту, а другая – на земле.

На данном этапе разработки представляется целесообразным проведение оценки внешних проявлений деградации блока на борту ЛА (в вычислителе блока), а проведение оценки естественного процесса старения блока в зависимости от условий эксплуатации реализовать в наземной системе.

Опишем подробно каждую их указанных на рисунке 1 процедур.

2 Метод оценки естественных процессов старения цифрового блока в зависимости от условий эксплуатации

2.1 Диагностические (репрезентативные) параметры, характеризующие условия эксплуатации цифрового бортового блока

На процесс старения цифровых блоков значительное влияние оказывают условия их эксплуатации. Опыт эксплуатации бортовых систем контроля и регистрации полетной информации показывает, что наиболее значимыми для ресурса цифровых блоков являются следующие параметры, характеризующие условия эксплуатации:

– температура;
– показатели электропитания (напряжение, сила тока);
– влажность;
– концентрация вредных примесей в воздухе (соль, пыль и т.п);
– уровень вибрации.

В нашей практике был случай, когда неудачное (по температуре) расположение электронного блока на ЛА привело к снижению времени наработки на отказ блока в 5 раз. Это был блок сбора и обработки полетной информации, сам реализующий функцию контроля (мониторинга) БО. Тогда для обоснования

причины отказов, блок был укомплектован датчиками температуры, данные от которых регистрировались на штатные бортовые накопители.

В перспективной системе прогноза технического состояния для мониторинга температуры в процессе эксплуатации цифрового блока предлагается использовать данные встроенного датчика температуры процессора. В современных процессорах эта функция реализована. Она необходима для организации тепловой защиты процессора в случае его перегрева. Процессор является самой «горячей» частью блока.

Температура является локальным параметром блока, т.е. этот параметр может отличаться в разных точках внутри блока и для двух соседних блоков. На процесс старения блока оказывает влияние, главным образом, именно внутренняя температура блока.

Для удобства анализа изменений температуры в процессе эксплуатации блока и дальнейшего использования этого показателя в алгоритме прогноза предлагается после каждого полета вычислять плотность распределения температуры P_T. Для этого температурный диапазон эксплуатации блока делим на m равных интервалов. Для каждого интервала выделяем счетчик замеров K_i, увеличивающийся на единицу при нахождении замера в данном интервале. По этой информации можно вычислить вероятность нахождения температуры в i-ом диапазоне $P^i_{T.}$

Значения счетчиков K_i хранятся в памяти блока. Счетчик обнуляется при начале эксплуатации блока и после ремонта, связанного с заменой хотя бы одного из элементов блока.

Пример плотности распределения температуры P_T приводится на рисунке 2.

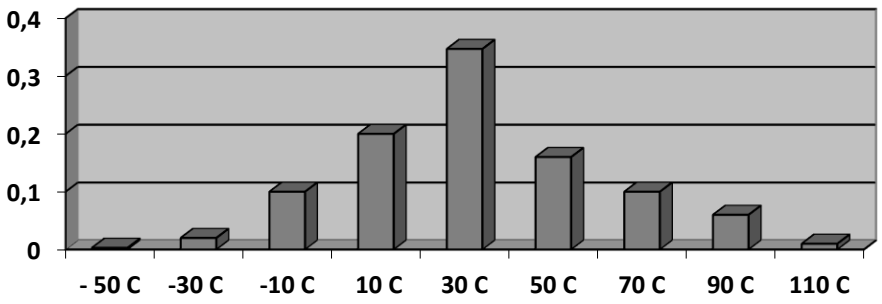

Рис. 2. Плотности распределения температуры

Размер интервала температуры в двадцать градусов С° выбран экспертно. При отработке метода этот параметр будет уточняться с учетом его влияния на показатель средней наработки на отказ блока. Возможно, возникнет необходимость в разбиении шкалы температур на неравные интервалы.

Измерение напряжения электропитания также предлагается осуществлять встроенными средствами блока. Плотность распределения напряжения электропитания P_F вычисляется аналогично плотности распределения температуры P_T. Для некоторых блоков эта функция уже реализована в современных системах мониторинга состояния БО ЛА.

Для определения влажности, концентрации вредных примесей и уровня вибрации могут быть использованы специализированные датчики. Эти параметры являются общими для группы блоков, расположенными в одной части ЛА. В этих условиях можно использовать по одному датчику на каждый параметр для группы блоков.

Для оценки естественного процесса старения цифрового блока необходимо учитывать время жизни блока и время его работы, поскольку цифровой блок стареет не только во время работы, но и в процессе его хранения. Есть данные, что показатель износа блока во время работы и во время хранения соотносится как десять к одному. То есть один час работы блока по критерию износа равен десяти часам его хранения.

Дата выпуска блока определяется из его паспорта. Эти данные заносятся в электронную метку блока и при необходимости – во внутреннюю память блока.

Текущая дата может быть получена из GPS (Global Positioning System - глобальная система навигации и определения положения).

Параметр реального времени работы блока предлагается подсчитывать и хранить внутри блока. Разработчики современных блоков уже реализуют эту функцию. До недавнего времени данные о наработке блока можно было получить только из бортового журнала, который заполнялся летчиком вручную.

Перечень параметров, характеризующих значимые для цифровых систем условия эксплуатации, может быть расширен в ходе отработки методов прогнозирования.

2.2 Оценка естественного старения цифрового блока в зависимости от условий эксплуатации

Оценка влияния условий эксплуатации на процесс естественного старения блока может быть проведена как экспертно, так и с использованием аппарата количественной оценки.

Для экспертной оценки предлагается визуализировать зарегистрированные в полёте параметры, отражающие условия эксплуатации БО, в табличном и графическом виде. Эта функция может быть реализована в стандартной программе обработки полетной информации наземной системы съема и обработки полётной информации. Она предполагает вывод на экран компьютера следующей информации для выбранного блока (системы):

– средняя наработка на отказ блока (системы) – данные разработчика;

– реальное время работы блока;

– время жизни блока;

– график (таблица) плотности распределения выбранного параметра из числа характеризующих условия эксплуатации (гистограмма аналогичная представленной на рисунке 2);

– номинальное значение параметра, используемое разработчиком для подсчета средней наработки на отказ блока (приводится на графике плотности распределения выбранного параметра).

Эти данные помогут эксперту принять решение о наличии ресурса анализируемого блока.

Для количественной оценки естественного старения цифрового блока предлагается использовать модели контролепригодности блока [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], позволяющие определить вероятность отказа блока в зависимости от средней наработки на отказ его компонент (Mean Time

Between Failure - MTBF). Для расчета MTBF в зависимости от условий эксплуатации, времени его работы и жизни используются известные методы расчета показателей надежности радиоэлектронных средств [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

На рисунке 3 представлена схема процедуры оценки естественного старения цифрового блока в зависимости от условий эксплуатации.

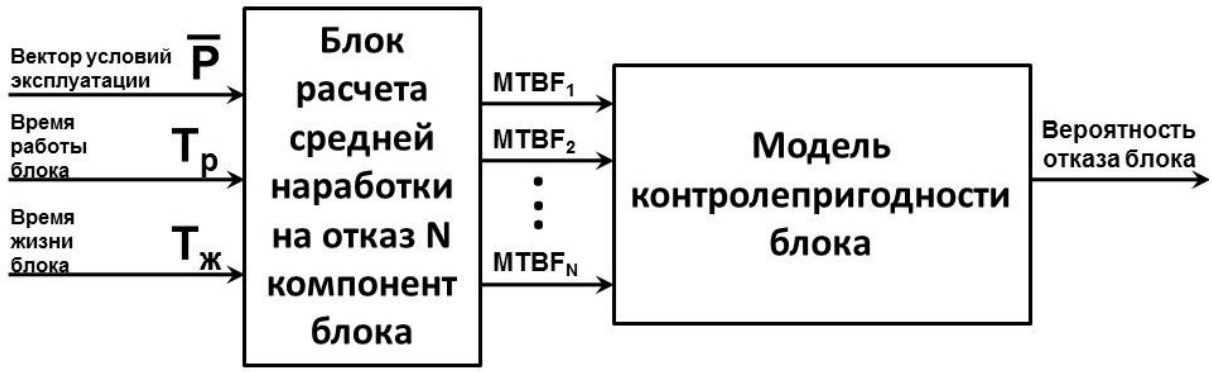

Рис. 3. Схема процедуры оценки естественного старения цифрового блока в зависимости от условий эксплуатации

Для расчета средней наработки на отказ электронных компонент блока существует множество стандартов. Наиболее известными среди них являются MIL-HDBK-217, Telcordia Issue 2, Siemens SN 29500, 217 Plus, IEC TR 62380, FIDES 2009, 299C.

Предполагается производить расчет MTBF по военному американскому стандарту MIL-HDBK-217, поскольку он имеет наиболее более полный каталог компонентов и обеспечивает требуемый уровень контроля качества (выдвигает наиболее «жесткие» требования).

Методика определения средней наработки на отказ компонент блока в зависимости от условий эксплуатации описана в работе [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Для учета влияния условий эксплуатации на показатели надежности применяются поправочные коэффициенты, учитывающие влияния отдельных факторов условий. Принято допущение, что влияния факторов условий эксплуатации на интенсивность отказов не коррелированны друг с другом.

Для оценки влияния условий эксплуатации блока на вероятность его отказа предлагается использовать логико-физическую модель контролепригодности блока [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. На модели определяется вероятность отказа блока в зависимости от изменения средней наработки на отказ (MTBF) компонент блока с учетом условий эксплуатации.

Логико-физическая модель контролепригодности блока представляет собой математическую модель, в которой имитируется логика контроля и физическое прохождение данных с результатами контроля. Модель чувствительна к программно-аппаратной реализации блока, способу организации встроенного контроля в нем, наличию динамического контроля достоверности данных принимаемых/передаваемых по линиям связи.

Исходными данными для построения математической модели контролепригодности блока являются его структурная схема и требования заказчика по организации контроля его состояния.

На модели проводится статистическое моделирование. Случайным событием является отказ компонент блока с заданным MTBF.

По результатам статистического моделирования вычисляется вероятность отказа блока.

3 Мониторинг параметров, отражающих деградационные процессы цифрового блока

В интересах прогнозирования технического состояния цифрового блока наряду с оценкой естественного старения блока в зависимости от условий эксплуатации необходимо организовать мониторинг параметров, отражающих деградационные процессы блока.

3.1 Диагностические (репрезентативные) параметры, характеризующие деградационные процессы цифровых бортовых блоков

Опыт эксплуатации цифровых бортовых блоков позволяет выделить следующие признаки предотказного состояния:

– увеличенное время подготовки блока к работе при его включении или перезагрузки после сбоя;

– увеличенное число сбоев при информационном обмене;

– увеличенное время восстановления работоспособности блока после сбоя;

– резкий рост количества дефектных ячеек памяти и т.п.

В интересах оценки этих признаков предлагается организовать анализ и регистрацию следующих параметров:

– время подготовки блока к работе при его включении или перезагрузки после сбоя;

– время восстановления системы после сбоя;

– количество сбоев информационного обмена в единицу времени;

– температура процессора;

– количество дефектных ячеек памяти.

Для оценки деградационных процессов в цифровом блоке необходимо задать номинальные значения контролируемых параметров. Для их определения предполагается провести серию экспериментов на партии блоков. По результатам экспериментов для каждого параметра вычисляются его математическое ожидание, принимаемое за номинальное значение, и дисперсия. Эти параметры являются характеристиками устройства определенного типа.

При выпуске конкретного блока для него проводится серия экспериментов, по результатам которых уточняются номинальные значения контролируемых параметров. Эти данные записываются в паспорт блока и во внутреннюю его память. Возможна запись этих параметров в электронную метку блока.

3.2 Оценка внешних проявлений деградационных процессов цифрового блока

Особенностью поведения диагностических признаков деградационных процессов цифрового блока является нестационарный характер. Одиночные события отклонения диагностических признаков от нормы можно рассматривать

как случайные. Предотказное состояние характеризуется частыми повторениями этих событий.

Для количественной оценки внешних проявлений деградационных процессов цифрового блока предлагается следующий алгоритм.

Выделим группы независимых признаков предотказного состояния. Параметры, входящие в одну группу, являются зависимыми друг от друга и независимы от параметров других групп. Таким образом, группы параметров можно рассматривать как независимые.

Вероятность отказа блока по результатам мониторинга деградационных процессов $P_Д$ вычисляется по следующей формуле:

$$P_Д = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i * P^i_Д,$$

где $P^i_Д$ – вероятность отказа блока по результатам анализа параметров i-ой группы;

α_i – весовой коэффициент i-ой группы;

n – общее количество анализируемых групп параметров.

Для весовых коэффициентов α_i справедливо следующее выражение:

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1{,}0.$$

В нашем случае выделены 3 группы параметров:

1 Время загрузки системы;

2 Количество сбоев обмена в единицу времени и время восстановления системы после сбоя;

3 Количество дефектных ячеек памяти.

Процедура вычисления вероятности отказа блока для каждой группы параметров имеет свои особенности, обусловленные физическим смыслом предотказных процессов. Она представляет собой алгоритм, который контролирует фактическое значение параметра, фиксирует события превышение его порогового значения и отсутствия таковых. Вероятность отказа блока вычисляется по

эвристической формуле, включающей понижающий коэффициент при отсутствии события и повышающий коэффициент при их частом повторении.

4 Процедура интегральной оценки уровня деградации блока

Интегральный показатель уровня деградации блока должен включать оценку естественного процесса старения блока в зависимости от условий эксплуатации и оценку внешних проявлений деградации блока.

Предлагается использовать следующий показатель:

$Ри = \beta_1 * Рэ + \beta_2 * Рд$,

где Ри – интегральная вероятность отказа блока;

где Рэ – оценка вероятности отказа блока, вызванная естественными процессами его старения;

Рд – оценка вероятности внешних проявлений деградации блока;

β_1 и β_2 – весовые коэффициенты, удовлетворяющие условию $\beta_1 + \beta_2 = 1{,}0$ и определяемые на этапе отработки метода.

Для предоставления данных прогноза состояния блока эксплуатанту предлагается трансформировать показатель интегральной вероятности отказа блока Ри в остаточный ресурс блока Rост.

Для этого, примем, что Rост изменяется от 1 до 0. Единица соответствует ресурсу блока, выходящего с завода, ноль – выработанному ресурсу.

На модели контролепригодности вычисляем вероятность отказа Рисх для блока, выходящего с завода.

Определяем критическую вероятность отказа блока Ркр, соответствующую предельному состоянию блока, при котором производитель считает нецелесообразным его дальнейшую эксплуатацию или запрещает эксплуатацию. Эта величина является функцией MTBF блока.

Примем допущение, что остаточный ресурс блока линейно зависит от вероятности отказа блока, тогда величину остаточного ресурса блока будем вычислять по формуле:

Rост = (Ркр – Ри) / (Ркр – Рисх) .

5 Процедура выработки рекомендации

Процедура выработки рекомендаций должна определить состояние ресурса блока. Возможны следующие состояния блока:

– достаточный ресурс блока (не индицируется эксплуатанту);

– низкий ресурс блока – эксплуатация возможна, но требуется иметь запасной блок на складе;

– ресурс блока критический – эксплуатация возможна, но необходимо заменить блок при первой возможности;

– ресурс блока ниже критического, эксплуатация запрещена.

Процедура выработки рекомендаций по остаточному ресурсу блока зависит от следующих факторов:

– степени влияния системы на безопасность эксплуатации ЛА;

– политики эксплуатанта по замене оборудования;

– особенности эксплуатации ЛА, например, удаленностью размещения ЛА от баз технического обслуживания;

– степени резервируемости функций блока на борту ЛА;

– остаточного ресурса блоков, дублирующих функции рассматриваемого блока.

Для БО непосредственно влияющего на безопасность полета ЛА требования к остаточному ресурсу более жесткие. Требования к остаточному ресурсу ужесточаются, если функции блока не резервируемы.

Таким образом, алгоритмы выработки рекомендаций по остаточному ресурсу блока зависят от архитектуры ЛА и концепции его эксплуатации, принятой разработчиком ЛА.

6 Отработка методов прогнозирования технического состояния цифровых бортовых блоков

Описанные методы прогнозирования отрабатываются в блоках бортовой системы контроля и регистрации полетной информации ЛА. В ней возможна организация регистрации дополнительных параметров. У неё имеются штатные

средства просмотра зарегистрированных данных. Блоки системы имеют сравнительно простую архитектуру. В состав системы входит несколько блоков (до пяти) различных производителей. В этом случае блоки системы являются объектом исследования и инструментом отработки технологии.

Отработку методов предполагается проводить на полунатурном стенде моделирования, включающем штатную наземно-бортовую систему контроля и регистрации полетной информации, и в качестве дополнительной задачи в ходе летных испытаний ЛА. Задачи прогноза могут быть фоновыми при отработке функциональных задач системы. Это позволит повысить объем моделирования, и как следствие увеличит количество информации для анализа.

Заключение

В статье предложен метод прогноза технического состояния электронного (цифрового) БО ЛА, базирующийся на мониторинге двух основных процессов – оценке естественного старения БО в зависимости от условий эксплуатации и мониторинге параметров, отражающих деградационные процессы БО.

Приводится перечень диагностических (репрезентативных) параметров, характеризующих условия эксплуатации блока, влияющие на его ресурс, и внешние проявления деградационных процессов в нем. Часть этих параметров регистрируются в современных системах. Получение данных о других возможно без аппаратной модернизации блоков. Для измерения незначительной части параметров необходимы специальные датчики и линии связи для передачи их данных.

Предложены методы обработки диагностических параметров в интересах прогноза остаточного ресурса цифрового блока ЛА.

Отработка метода проводится на примере наземно-бортовой системы контроля и регистрации полетной информации. При этом блоки системы являются объектом исследования и инструментом отработки технологии.

Предлагается поэтапное внедрение методов прогнозирования. На первом этапе – визуализация репрезентативных параметров с индикацией отклонений от нормы, а затем внедрение методов автоматизированной обработки этих данных.

Внедрение описанного метода позволит сделать значительный шаг в сторону эксплуатации ЛА по состоянию, предоставляет математический аппарат для подсчета рисков в системе управления безопасностью полетов и обеспечит проектирование БО с обратной связью.

Список литературы

1. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. Издание первое. ИКАО. 2013. [Электронный ресурс] https://dream-air.ru/tpl/docs/an19_cons_ru.pdf (Дата обращения: 25.05.2021).
2. Процкая Л.Г., Преображенский Л.А. Пути повышения контролепригодности бортового оборудования на основе применения системного подхода к проектированию иерархических систем контроля летательного аппарата // Накопители полетных данных, системы прогностики и диагностики, средства бортовых измерений: VI научно-практическая конференция (г. Курск, 04-05 июня 2014). Москва: Издательский дом «Бедретдинов и Ко», 2014 С. 25-29.
3. Программы предсказания судьбы самолета // AVIAGLOBUS [Электронный ресурс] 2013 http://aviaglobus.ru/2013/04/23/6113/ (Дата обращения: 15.06.2021).
4. Suresh Nayagam Prognostic Health Management of Aircraft Electronics/ Power Electronics [Электронный ресурс] http://www.corpe.et.aau.dk/digitalAssets/94/94065_suresh-perinpanayagam---prognostic-health-management-of-aircraft-electronicspower-electronics.pdf (Дата обращения: 29.06.2018)
5. В. Жданкин «Надежность преобразователей напряжения и её количественная оценка» «СТА. Современные технологии автоматизации» – Москва, № 4, 1997г. С.116-119.

6. С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян «Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств»: Учебно-методическое пособие под ред. С.М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010.

Referents

1. International Standards and Recommended Practices. Appendix 19 to the Convention on International Civil Aviation. Flight safety management. First edition. ICAO. 2013. [Electronic resource] https://dream-air.ru/tpl/docs/an19_cons_ru.pdf (Date of access: 05/25/2021).
2. Protskaya L.G., Preobrazhensky L.A. Ways to improve the testability of on-board equipment based on the application of a systematic approach to the design of hierarchical aircraft control systems // Flight data storage, prognostic and diagnostic systems, on-board measurements: VI scientific and practical conference (Kursk, June 04-05, 2014). Moscow: Publishing house "Bedretdinov and Co", 2014 P. 25-29.
3. Aircraft fate prediction programs // AVIAGLOBUS [Electronic resource] 2013 http://aviaglobus.ru/2013/04/23/6113/ (Date of access: 06/15/2021).
4 Suresh Nayagam Prognostic Health Management of Aircraft Electronics/ Power Electronics [Electronic resource] http://www.corpe.et.aau.dk/digitalAssets/94/94065_suresh-perinpanayagam---prognostic-health-management-of-aircraft- electronicspower-electronics.pdf (Date of access: 06/29/2018)
5 V. Zhdankin “Reliability of voltage converters and its quantitative assessment” “STA. Modern automation technologies” – Moscow, No. 4, 1997. pp.116-119.
6 S.M. Borovikov, I.N. Tsyrelchuk, F.D. Troyan "Calculation of indicators of reliability of radio electronic means": Educational and methodical manual, ed. CM. Borovikov. – Minsk: BSUIR, 2010.

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"
© Преображенский Л.А., Процкая Л. Г. 2022 Научный сетевой журнал «Международный журнал прикладных наук и технологий Интеграл» №3/2022.

Для цитирования: Преображенский Л.А., Процкая Л. Г. МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИФРОВОГО БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА// Научный сетевой журнал «Международный журнал прикладных наук и технологий Интеграл» №3/2022.