

УДК 621.396.6

Метод количественных оценок технических состояний сложных систем

Заковряшин А.И.

Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия
e-mail: zai999@mail.ru

Аннотация

Предложен метод количественных оценок технических состояний сложных систем, включающий оценку качества функционирования на основе непрерывной математической модели состояний, функции принадлежности параметров объекта.

Ключевые слова: метод количественных оценок технических состояний, процедура оценки качества функционирования, дискретная и непрерывная математические модели состояний сложных систем

Введение

В настоящее время в авиационной, ракетной и космической отраслях существует проблема повышения точности оценок качества функционирования сложных систем.

Предлагаемый метод количественных оценок технических состояний (запаса работоспособности) сложных систем по точности минимум на порядок превосходит традиционный метод бинарных оценок. Применение предлагаемого метода на

практике позволит существенно повысить точность оценки уровня ресурсной деградации аппаратуры.

Процесс создания наукоемких изделий включает: маркетинг рынка, составление технического задания, проектирование, технологическую подготовку производства, производство изделия, его интегрированную логистическую поддержку, эксплуатацию и утилизацию.

На этапе интегрированной логистической поддержки выполняются как транспортировка и складирование, так и высокотехнологичное техническое обслуживание, ремонт и модернизацию изделий на предпродажном и послепродажном этапах.

Продажа изделия включает доставку изделия заказчику, монтаж, настройку, испытания и высокотехнологичное сервисное обслуживание.

На этапе утилизации аппаратура уничтожается. Однако не исключена возможность разборки ее с целью снятия работоспособных систем (подсистем, блоков) и использования их в модернизируемой технике.

Практически на всех этапах жизненного цикла изделия используются испытания, целью которых является оценка качества функционирования объекта в текущий момент времени и прогнозирование его поведения. Большой объем экспериментальных исследований выполняется на макетах, отладочных стендах, а также при дискретном и аналоговом моделировании.

В ходе экспериментальной отработки системы решается множество задач, среди которых оценка истинных значений существенных показателей системы. Эта

задача является важной, поскольку прогнозирование изменений этих показателей в процессе эксплуатации определяет уровень деградации аппаратуры.

Перечисленные показатели являются решающими при принятии решений о возможности применения объекта по назначению или при обосновании выбора лучшего по запасу работоспособности объекта из группы однотипных.

Процесс функционирования системы

Процесс функционирования системы определяется ее собственным качеством, реализуемым в некоторых расчетных условиях внешней среды [1].

При оценке качества функционирования сложной системы предполагается, что:

- каждый объект обладает совокупностью свойств, определяющих его качество применительно к назначению;

- каждое из свойств может быть представлено количественно с помощью некоторой переменной;

- качество объекта относительно его назначения характеризуется значениями показателей свойств и их местоположением в соответствующих полях допусков.

Множество критериев качества могут быть разделены на три класса: принадлежности, оптимальности и превосходства. Первый класс показывает принадлежность анализируемого измеренного значения параметра соответствующему полю допуска. Критерий оптимальности позволяет выявить близость (совпадение) измеренного значения параметра с его оптимальным значением. И, наконец, критерий превосходства позволяет сравнивать объекты, для параметров которых выполняются критерии принадлежности и оптимальности.

Оценивание качества функционирования объекта включает: выявление существенных свойств объекта; определение значений показателей свойств и нахождение оценки качества функционирования объекта, характеризующего его запас работоспособности.

Оценка качества функционирования зависит от всей имеющейся априорной и измерительной информации по объекту. В частности, она включает численные значения существенных свойств объекта; численные значения границ полей допусков; характеристик средств контроля и диагностики; статистических связей между параметрами объекта; статистических свойств поведения тех или иных существенных параметров внутри соответствующих полей допусков; принятой математической модели технических состояний параметров, конструктивных единиц и объекта в целом; весовыми коэффициентами влияния отдельных существенных параметров объекта на конечный результат и т.п.

Параметры, представляющие существенные свойства, выявляются при изучении технической документации на объект.

Для нахождения численных значений показателей свойств используются ручные, автоматизированные или автоматические средства контроля и диагностики.

Оценка качества функционирования

При нахождении показателей качества функционирования объекта предполагается, что оценка технического состояния параметра (подсистемы, системы или объекта) должна быть тем больше по абсолютному значению, чем меньше модуль разности между измеренным и номинальным значениями

параметра [3]. При совпадении результата измерения с номинальным значением параметра оценка технического состояния должна принимать максимальное значение. Поэтому математическая модель оценки состояний параметров строится так, чтобы это имело место при совпадении измеренного и номинального значений. При «движении» значений параметра к границам полей допусков оценки технических состояний должны уменьшаться до нуля. На границах полей допусков и за ними оценки состояния должны обращаться в нуль.

Современная точка зрения [2] состоит в том, что знания диагноста относительно признаков, характеризующих отличие работоспособного от неработоспособного состояний, могут быть неточными. Математическим аппаратом неточности является теория размытых множеств, в которой используются функции принадлежности. С их помощью удобно описывать переходные области от множества нормальных к множеству аномальных значений переменных.

Дискретная математическая модель технического состояния параметров

Первой была предложена дискретная математическая модель технического состояний параметров, реализующая традиционный подход: множество всех состояний параметра делилось на два непересекающихся подмножества – работоспособных и неработоспособных. Работоспособному состоянию (значение параметра оказалось внутри соответствующего поля допуска) ставится в соответствие единичное значение, неработоспособному – значение нуль. Использование такой модели означает, что состояния могут быть истинными или ложными, промежуточные состояния исключаются. В модели реализован принцип

принадлежности. Очевидным недостатком такой модели является невозможность обнаружения приближения параметров к границам полей допусков, т.е. возникновение предотказовых ситуаций по параметрам не диагностируется.

Непрерывная математическая модель технического состояния параметров

Непрерывная математическая модель технических состояний параметров обеспечивает плавное изменение значений состояний от нулевого значения (параметр находится в неработоспособном состоянии) к единичному значению (параметр находится в отличном работоспособном состоянии). В непрерывной математической модели используются функции принадлежности параметров аналогового типа.

В предлагаемой модели помимо критерия принадлежности, реализованы критерии оптимальности и превосходства, что позволяет выявлять факты приближения значений параметров к границам полей допусков и своевременно принимать обоснованные решения [3].

Функции принадлежности параметров

В радиоэлектронной аппаратуре аналогового (цифроаналогового) типа встречаются два типа полей допусков: односторонние и двусторонние. Примером поля допуска первого типа является (X гр, X макс), в котором техническим заданием (ТЗ) на объект задается значение левой границы поля допуска X гр, значение же правой границы поля допуска измеряется на конкретном экземпляре объекта и присваивается переменной X макс. В частности, таким параметром может быть мощность передатчика. По ТЗ мощность не должна быть меньше заданного

граничного значения, а значение правой границы поля допуска – это максимальное из измеренных значений мощности конкретного объекта. Если имеется возможность выполнять измерения мощностей группы однотипных объектов, то значением правой границы будет максимальное из всех измеренных значений.

Другим примером одностороннего поля допуска является (X_{\min} , $X_{\text{гр}}$). Таким параметром может быть уровень шума приемника. Правая граница $X_{\text{гр}}$ задается в ТЗ и является максимально допустимым значением. Левая граница X_{\min} - это минимальное значение уровня шума, измеренное на конкретном объекте.

Примером параметра с двусторонним полем допуска (X_1 , X_N , X_2) может быть напряжение питания, причем X_1 – значение нижней границы поля допуска, X_2 – значение верхней границы поля допуска, а X_N – номинальное значение параметра.

Математическая модель технического состояния объекта

При построении математических моделей сложных систем широко используется принцип декомпозиции. Множество подсистем, полученных в результате операции декомпозиции, эквивалентны в математическом смысле декомпозируемой системе, у которой компоненты рассматриваются как относительно независимые друг от друга.

При построении математической модели системы дерево декомпозиции изображается ориентированным корневым графом. Вершинам графа ставятся в соответствие состояния структурных единиц различных уровней, а ребрам - весовые коэффициенты, показывающие степень влияния состояний структурных единиц нижних уровней на технические состояния структурных единиц верхних уровней.

Топология математической модели представляется набором вертикальных и горизонтальных связей. Горизонтальные связи каждого уровня кроме верхнего задаются ковариационными матрицами соответствующих размерностей.

Вертикальные связи существуют между единицами различных структурных уровней модели. При нахождении количественных оценок технических состояний используются: измерительная и априорная информации по параметрам, функции принадлежности всех участвующих в обработке параметров объекта, ковариационные матрицы связей оценок состояний различных уровней и др.

На нижнем уровне математической модели представлены оценки технических состояний всех измеряемых существенных параметров объекта. Вершине верхнего уровня поставлена в соответствие количественная оценка технического состояния объекта.

Возможные области применения.

На этапе производства – при выполнении всех видов выходного контроля.

На этапе эксплуатации – при обосновании выбора лучшего по запасу текущей и прогнозируемой работоспособности объекта из группы однотипных. Поскольку аппаратура применяется в будущем, актуальна задача индивидуального прогнозирования запаса работоспособности объекта.

Предлагаемый метод может использоваться также при выполнении предпродажного (послепродажного) обслуживания и ремонта аппаратуры на этапе интегрированной логистической поддержки [4].

При формировании рекомендаций для лица, принимающего решение (ЛПР), рассчитываются:

- текущее техническое состояние (запас работоспособности объекта для настоящего момента времени);

- прогнозируемое техническое состояние (запас работоспособности объекта для заданного упрежденного момента времени).

Желательно учитывать текущее и прогнозируемое состояние внешней среды, а также особенности решаемой объектом задачи (в частности, предполагаемое время ее выполнения).

Решение перечисленных задач, связанных с обработкой измерительной и априорной информации по объекту, а также учет состояния внешней среды целесообразно возложить на интеллектуальную систему технического диагностирования [5]. Рекомендации, формируемые ей, предоставляются ЛПР. Диапазон принимаемых ЛПР решений достаточно широк - от применения объекта по назначению до рекомендаций по техническому обслуживанию и/или ремонту.

Выводы

1. Реализация описанного подхода предполагает использование в качестве инструментального средства автоматизированной системы контроля, разрабатываемой для определенного класса аппаратуры и обеспечивающей выполнение измерений существенных параметров в заданные моменты времени, их накопление и хранение.

2. Количественная оценка технического состояния сложной системы представляет ее запас работоспособности и характеризует уровень ресурсной деградации аппаратуры.

3. Точность количественных оценок технических состояний сложных систем, рассчитанных на основе непрерывной модели состояний, более чем на порядок превышает точность качественной оценки состояний, реализуемой на основе дискретной модели «ГОДЕН – НЕ ГОДЕН».
4. Метод количественных оценок технических состояний является методической основой построения интеллектуальной системы технического диагностирования [4].
5. Лицу, принимающему решения, необходимо знать динамику изменения работоспособности объекта. Для этого прогнозируются количественные оценки состояний объекта по малой выборке с учетом всей имеющейся априорной информации.
6. Метод количественных оценок технических состояний может быть использован также на этапе интегрированной логистической поддержки при организации высокотехнологичного технического обслуживания и ремонта сложных наукоемких изделий.

Библиографический список

1. Элементы теории испытаний и контроля технических систем. Авт. В.И. Городецкий, А.К. Дмитриев, В.М. Марков и др. Под ред. Р.М. Юсупова.- Л.: Энергия, 1978. – 192 с.
2. Дж. Ван Гиг. Прикладная общая теория систем в 2-х т.: Пер. с англ./Под ред. Б.Г. Сушкова, В.С. Тюхтина. – М.: Мир, 1981. – 734 с.
3. Заковряшин А.И. Конструирование РЭА с учетом особенностей эксплуатации. – М.:Радио и связь, 1988.- 120с.

4. Заковряшин А.И., Агалецкий П.С. Элементы интегрированной логистической поддержки сложных систем. Электронный журнал «Труды МАИ», вып. 49, 2011г.
5. Заковряшин А.И. Интеллектуальная система технического диагностирования. Электронный журнал «Труды МАИ», вып. 49, 2011г.