

Прогнозирование технического состояния бортового радиоэлектронного оборудования

Закиров Р.Г.

*Ташкентский государственный технический университет им. Абу Райхана Беруни,
улица Университетская 2, Ташкент, 100095, Узбекистан*

e-mail: zrg1980@mail.ru

Аннотация

В настоящее время в авиации широко внедряются различные методы управления безопасностью полетов. Одним из важнейших методов является прогностический метод, основанный на прогнозировании возникновения той или иной ситуации. Широко внедряется прогностический метод в диагностику радиоэлектронного оборудования воздушных судов. В настоящей статье рассмотрены диагностические методы прогнозирования технического состояния бортового радиоэлектронного оборудования - вероятностный метод и метод численного анализа.

Ключевые слова: Диагностика, прогнозирование, вероятностный метод прогнозирования, прогнозирование методами численного анализа

Введение

Посредством анализа выбранной совокупности диагностических параметров радиооборудования можно не только дать заключение о текущем техническом

состоянии объекта технического диагностирования, но и предсказать с определенной вероятностью, как долго это состояние может продлиться. То есть, имеется возможность предсказать нахождение радиоаппаратуры в заданном состоянии (например, работоспособности или функционирования) в течение определенного временного интервала.

Эта задача решается методами прогнозирования технического состояния [1, 2]. Для современных систем технического диагностирования прогнозирование технического состояния объекта является одной из наиболее перспективных задач.

Прогнозирование технического состояния позволяет не только предсказать выход из строя радиоэлектронного оборудования, но и определить оптимальную периодичность проведения операций технического диагностирования, а также использовать результаты прогнозирования при создании гибких алгоритмов диагностирования. Например, возможно использовать данные прогнозирования технического состояния при поиске места отказа.

Аналогично, результаты прогнозирования могут быть использованы и при построении алгоритмов определения технического состояния радиоэлектронного оборудования.

Применение прогнозирования технического состояния позволяет значительно повысить эффективность системы технической диагностики, что в свою очередь приводит к повышению эффективности эксплуатации авиационного радиоэлектронного оборудования, и способствует обеспечению заданного уровня безопасности полетов.

Важность прогнозирования технического состояния объекта очевидна, так как оно позволяет предотвратить отказ оборудования до его возникновения.

Стоимость затрат, связанных с возникновением отказа во время полета, может во много раз превысить расходы по разработке и внедрению эффективной системы диагностики с возможностью прогнозирования технического состояния.

При проведении прогнозирования технического состояния используют не только данные, полученные в текущий момент времени и результаты предыдущих измерений. Знание предыдущих результатов измерения указывает на необходимость применения запоминающих устройств в системах технического диагностирования. При этом хранение в памяти информации о состоянии радиоэлектронного оборудования за весь период его эксплуатации не актуально по нескольким причинам. Например, использование результатов измерений сделанных до проведения ремонта (или после проведения восстановления ресурса) совместно с результатами измерений, сделанных после его проведения в целях прогнозирования может привести к неправильному прогнозу и как следствие снизится достоверность результатов диагностики. Это обусловлено, прежде всего, тем, что неисправные ранее элементы могут быть заменены, что приведет к изменению закона изменения контролируемого параметра во времени (новые данные изменяются по одному закону, а предыдущие по другому).

Еще одной причиной, по которой хранить все данные в памяти не актуально, является то, что излишне большое количество данных зачастую не требуется, а в

некоторых случаях может даже оказывать негативное влияние на работу диагностической системы.

Рассмотрим, например, случай показанный на рис.1.

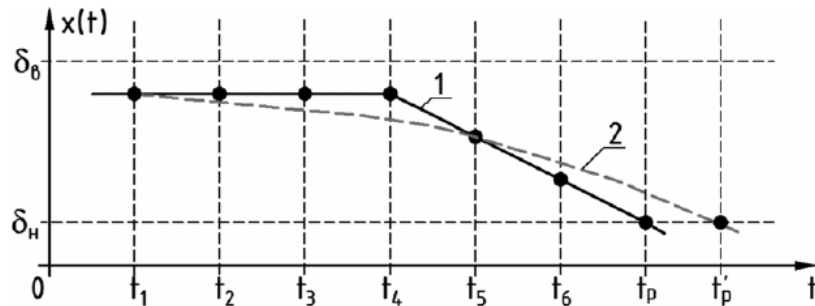


Рисунок 1. Изменение контролируемого параметра во времени

1 – действительный закон изменения контролируемого параметра во времени;

2 – закон изменения параметра, вычисленный устройством прогнозирования.

На временном участке от t_1 до t_4 параметр $x(t)$, определяющий работоспособность системы, находится в стабильном состоянии, но в момент времени t_4 его величина начинает падать (причиной может быть, например, неправильная работа одного из элементов схемы, вызванная кратковременным скачком напряжения в бортовой сети). Выход данного параметра за пределы нижнего допуска при этом должен произойти в момент времени t_p , с наступлением которого диагностируемая система перейдет в неработоспособное состояние.

При аппроксимации всех экспериментально полученных данных одной функциональной зависимостью от времени (на рис.1 она показана штриховой линией) и проведения последующего анализа могут быть получены неверные результаты прогнозирования. Согласно полученным результатам выход определяющего параметра за пределы установленных допусков произойдет в

момент времени t'_p , который находится дальше на временной оси, чем действительный момент выхода объекта диагностирования из состояния работоспособности. Погрешность прогнозирования в этом случае будет во многом определяться видом выбранной аппроксимирующей функциональной зависимости. Между тем, если разбить рассматриваемый интервал времени на два участка (первый от t_1 до t_4 , а второй от t_4 до t_6), и анализировать данные, которые получены после возникновения неисправности, то точность прогнозирования можно значительно повысить.

Таким образом, излишнее количество старых данных может негативно сказываться на эффективности работы системы, поэтому данные требуют постоянного обновления. Необходимость изменения данных, хранящихся в памяти, требует применения запоминающих устройств с возможностью многократной перезаписи информации. Из современных запоминающих устройств наиболее перспективным выглядит применение для хранения информации микросхем flash-памяти, имеющих все необходимые характеристики для применения в системах технической диагностики. Немаловажным фактором является возможность произвольного доступа к данным, хранящимся в памяти, так как может потребоваться изменение лишь небольшой части информации. Кроме того, для уменьшения количества соединительных проводников желательно использовать память с последовательным вводом и выводом информации, что приведет также и к экономии выводов портов микроконтроллера, который будет управлять данной

памятью. А так как микроконтроллеры с меньшим количеством портов, как правило, стоят дешевле то это приведет к снижению стоимости диагностической системы.

Существующие методы прогнозирования можно поделить на две большие группы.

К первой группе относятся методы, использующие математический аппарат теории случайных функций (вероятностные методы прогнозирования), а ко второй-методы, в основе которых лежит математический аппарат численного анализа. Кроме того, используются также и комбинированные методы прогнозирования, сочетающие в себе обе группы.

1. Вероятностный метод прогнозирования

Строго говоря, любой метод прогнозирования является вероятностным, так как точно предсказать момент выхода контролируемого параметра за пределы установленных допусков не представляется возможным. Можно лишь говорить о прогнозировании момента потери работоспособности (или функционирования) с определенной вероятностью.

Однако каждая группа методов имеет свои специфические особенности, поэтому рассмотрение обеих групп целесообразно проводить по-отдельности.

Практически все процессы, протекающие в радиоэлектронной аппаратуре, в том числе и возникновение различных отказов, зависят от многих факторов, которые обусловлены как внутренними свойствами аппаратуры, так и внешними условиями.

Вследствие этого изменение параметров во времени подчиняется случайным закономерностям, и сами параметры являются случайными величинами. Поэтому разбор методов прогнозирования технического состояния начнем с вероятностных методов.

Методы вероятностного прогнозирования [2] позволяют определить вероятность сохранения работоспособного состояния объекта технического диагностирования, либо наоборот, вероятность наступления неработоспособного состояния.

В самых простейших случаях, когда имеются данные только о текущем техническом состоянии, можно предположить что в системе проявляется экспоненциальный закон распределения надежности. В этом случае вероятность безотказной работы в последующий временной интервал времени определяется выражением

$$P = \exp(-t/t_0) = \exp(-\lambda t). \quad (1.1)$$

где t_0 – среднее время безотказной работы, $\lambda=1/t_0$ – интенсивность отказов.

Однако такой подход решения поставленной задачи крайне нецелесообразен, так как он не способен дать достаточно высокую достоверность прогнозирования.

Более совершенные методы используют функции распределения вероятности нахождения параметров в заданном диапазоне в определенный момент времени [1].

Пусть диагностический параметр $U(t)$ (см. рис. 2) представляет собой некоторую случайную величину U с известным законом распределения:

$$F_t(U) = [P(U(t) < U)]. \quad (1.2)$$

Плотность распределения вероятностей параметра $U(t)$

$$w_t(U) = \frac{dF_t(U)}{dU}. \quad (1.3)$$

Искомая вероятность выхода параметра $U(t)$ за пределы установленного допуска $U_{\text{дон}}$ в момент времени t при этом определяется выражением

$$P[U(t) < U_{\text{дон}}] = \int_{-\infty}^{U_{\text{дон}}} w_t(U) dU. \quad (1.4)$$

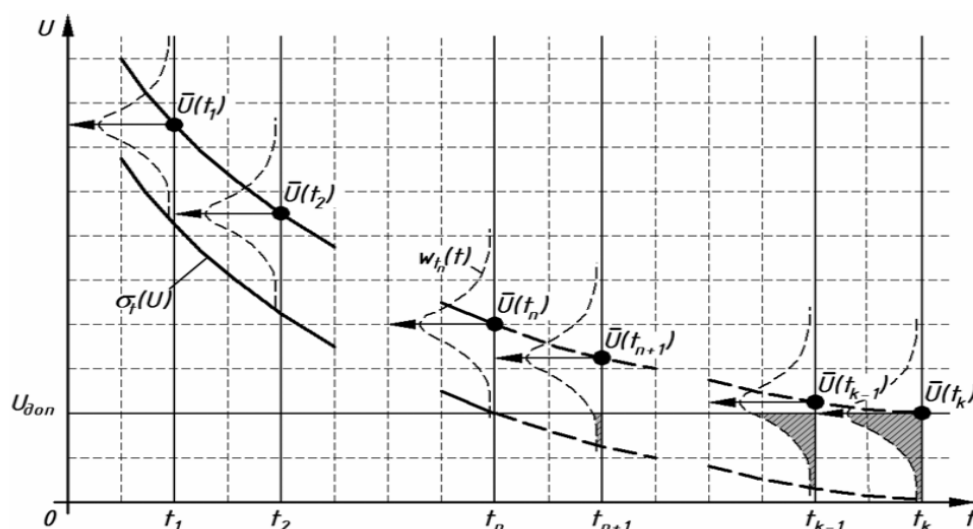


Рисунок 2. Прогнозирование технического состояния вероятностными методами.

Плотность вероятностей (1.3) случайной величины U может подчиняться различным законам распределения в зависимости от конкретного периода эксплуатации, условий работы аппаратуры или свойств конкретных элементов радиоэлектронного оборудования.

На этапе приработки отказы радиоэлектронного оборудования часто подчиняются распределению Вейбулла (или экспоненциальному распределению, которое можно рассматривать как частный случай распределения Вейбулла) [3].

Поведение параметров радиоэлектронной аппаратуры с ярко выраженным эффектом старения или износа элементов достаточно хорошо описывает распределение Релея.

В период нормальной эксплуатации в ряде случаев наблюдается либо нормальное, либо экспоненциальное распределение плотности вероятностей, а также распределение Пуассона (последнее бывает реже, в том случае, если поток отказов описывается элементарными функциями).

Если плотность вероятности подчиняется нормальному распределению, то

$$w_t(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_t(U)} \exp \{ -[U(t) - \bar{U}(t)]^2 / 2\sigma_t^2(U) \}. \quad (1.5)$$

где $\bar{U}(t)$ – математическое ожидание случайной величины (среднее значение), а величина $\sigma_t(U)$ – ее среднеквадратическое отклонение.

Так как значения параметра берутся не во все моменты времени, то непрерывную случайную величину можно приближенно заменить дискретной, при этом математическое ожидание и дисперсию случайной величины можно определить по формулам:

$$\bar{U}(t) = \sum_{i=1}^k U_i P_i \quad \text{и} \quad \sigma_t^2(U) = \sum_{i=1}^k P_i (U_i - \bar{U})^2. \quad (1.6)$$

где P_i -вероятность отклонения случайной величины от ее среднего значения

В общем случае вероятностные методы прогнозирования очень трудоемки, трудно поддаются алгоритмизации. Кроме того, они требуют знания статистических характеристик радиоэлектронного оборудования, что не всегда оказывается возможным.

Разумеется, можно применить аналитические методы расчета статистических параметров, однако и в этом случае пользоваться данными методами не всегда удобно. Кроме того, при этом может существенно снизиться достоверность полученных результатов прогнозирования, что приведет к снижению эффективности диагностической системы в целом, особенно если данные прогнозирования используются для коррекции алгоритмов определения текущего технического состояния или поиска места отказа.

Вследствие этого при решении задач прогнозирования технического состояния широко используются методы второй группы, к которым относятся методы прогнозирования на основе анализа определяющих параметров с помощью математического аппарата численного анализа (такие, как методы аппроксимации экспериментальных данных).

Данные методы свободны от большинства недостатков, присущих вероятностным методам прогнозирования, и их использование в целях прогнозирования представляется весьма перспективным. Достоверность результатов

прогнозирования технического состояния, полученных с помощью методов численного анализа, будет более высокой.

2. Прогнозирование методом численного анализа

Методы численного анализа позволяют провести прогнозирование технического состояния без учета вероятности отказа элементов, входящих в состав объекта диагностирования (и прочих вероятностных характеристик радиоэлектронного оборудования).

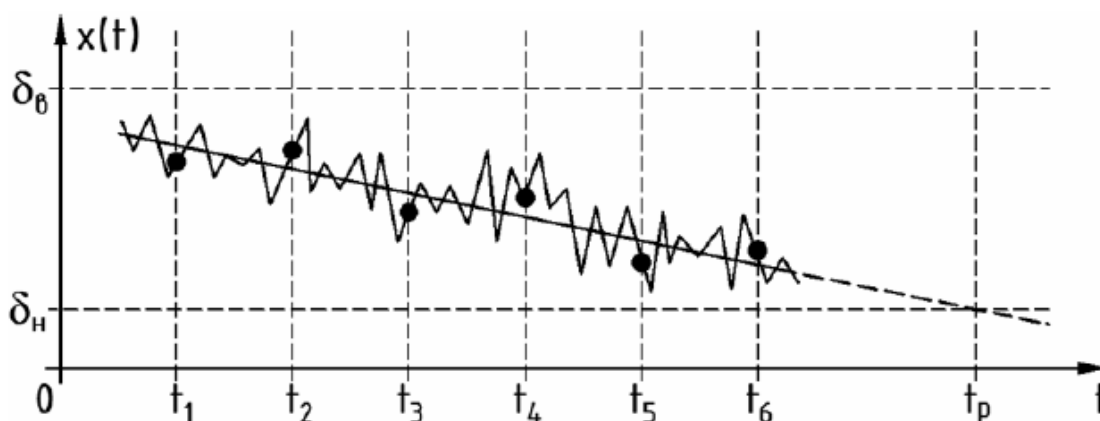


Рисунок 3. Определение времени работоспособности объекта путем анализа одного из параметров.

Наличие данных о предыдущем состоянии при этом является обязательным условием. Причем здесь мы встречаемся с некоторым парадоксом. С одной стороны, чем больше имеется данных о предыдущем состоянии объекта, тем точнее можно предсказать его последующее состояние, а с другой, избыточность данных может способствовать увеличению ошибки прогнозирования.

Например, на рис. 3 представлен график изменения во времени $x(t)$ одного из диагностических параметров объекта x . Как видно из рисунка функция $x(t)$

содержит детерминированную и случайную составляющие. Случайная составляющая может быть обусловлена неточностью измерения диагностического параметра, случайными кратковременными изменениями параметров элементов в аппаратуре, изменением условий эксплуатации (например, температуры внешней среды), внутренними или внешними шумами, а также рядом других факторов. Собственно, для целей прогнозирования интерес представляет, в основном, детерминированная составляющая функции изменения диагностического параметра. Если взято слишком мало экспериментальных данных, то выявление детерминированной составляющей параметра усложнится, так как не будет компенсироваться случайная составляющая параметра, что приведет к погрешности вычислений.

Рассмотрим применение методов численного анализа для прогнозирования технического состояния. В частности, на рис. 3 показывается нахождение времени работоспособности объекта t_p путем анализа изменения диагностического параметра. Результаты измерений диагностического параметра аппроксимируются некоторой зависимостью, которая позволяет проводить экстраполирование данной функции и найти момент времени, при котором ее значения выходят за пределы допусков δ_g и δ_n .

В случае, показанном на рис. 3 результаты шести измерений аппроксимируются линейной зависимостью. Момент времени, в который заданный параметр выходит за пределы установленных допусков однозначно определяет время работоспособности объекта диагностирования (естественно, определение

момента выхода контролируемого параметра за пределы осуществляется только с определенной степенью достоверности).

Если имеется дополнительная информация о состоянии объекта, например, производные по времени от диагностических параметров, или значения диагностических параметров во время предыдущих операций диагностирования, то прогнозирование технического состояния объекта можно осуществить с большой степенью достоверности.

Для задач прогнозирования часто применяют полиномы Лагранжа и Ньютона (последний можно рассматривать как частный случай полинома Лагранжа при использовании отсчетов искомой функции, взятых через равные промежутки времени). Также применяют и другие методы численного анализа, которых имеется огромное количество.

Из методов численного анализа [4] можно выделить несколько широко известных методов аппроксимации экспериментальных данных, в частности, метод наименьших квадратов. Пусть по данным измерений имеется несколько экспериментальных точек, иными словами два вектора входных данных – значения аргумента и самой функции

$$\begin{aligned}\bar{X} &= X\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\} \\ \bar{Y} &= Y\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_N\}.\end{aligned}\tag{2.1}$$

Согласно положениям теории вероятности эти точки лучше всего аппроксимирует функция, имеющая минимальный квадрат отклонения от точек,

соответствующих экспериментальным данным. Пусть аппроксимирующая функция $y = f(x)$ тогда

$$\sum_{i=1}^N [y_n - f(x_n)]^2 \rightarrow \min. \quad (2.2)$$

Для детального рассмотрения метода выберем функцию вида

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x^1 + a_0 x^0. \quad (2.3)$$

Для задач интерполяции степень полинома (2.3) берут выше, так как в этом случае экспериментальные данные описываются более точно [2]. Однако, если данный метод используется, чтобы находить последующие значения функции, то есть проводить экстраполяцию значений, то степень полинома должна быть небольшая. Чем выше степень полинома, тем быстрее он изменяется за пределами экспериментального участка, и тем сложнее предсказать дальнейшее поведение функции. Соответственно будет падать и достоверность полученного прогноза, кроме того, существенно возрастет объем вычислений.

Для полинома условие минимума можно записать в следующем виде

$$\sum_{i=1}^N [y_n - f(x_n, a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0)]^2 \rightarrow \min. \quad (2.4)$$

В математике доказывается, что условие (2.4) будет выполняться если

В радиоэлектронной системе часто действует экспоненциальный закон изменения параметров во времени, поэтому аппроксимирующую функцию можно искать и в виде

$$f(t) = \alpha e^{\beta t}. \quad (2.6)$$

Предварительно логарифмируя выражение, будем иметь

$$\ln f(t) = \ln \alpha + \beta t. \quad (2.7)$$

Как видно, полученная задача аналогична задаче рассмотренной ранее, то есть

$$\begin{cases} \ln \alpha \sum_{n=1}^N t_n + \beta \sum_{n=1}^N t_n^2 = \sum_{n=1}^N t_n \ln f(t_n) \\ N \ln \alpha + \beta \sum_{n=1}^N t_n = \sum_{n=1}^N \ln f(t_n) \end{cases}$$

Заключение

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что, используя соответствующий математический аппарат, возможно на основе диагностических данных оценить не только текущее состояние оборудования, но и произвести прогнозирование его состояния. При этом в качестве математического аппарата целесообразно использовать вероятностный метод и метод численного анализа. Основное отличие этих методов состоит в том, что вероятностный метод учитывает при расчете вероятности отказа системы в целом вероятности отказов каждого из ее элементов. Численный метод не учитывает вероятности отказов элементов системы, а основывается на анализе предыдущих состояний оборудования.

Применение предложенных методов позволит внедрить прогностический принцип управления безопасностью полетов, а также получить экономический эффект от избежания простоя воздушного судна по причине внезапного отказа бортового радиоэлектронного оборудования.

Библиографический список

1. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
2. Давыдов П.С., Иванов П.А. Эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. Справочник. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
3. Леонов А.И., Дубровский Н.Ф. Основы технической эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 272с.
4. Белашев В.Ю., Чернова Н.М. Эффективные алгоритмы и программы вычислительной математики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. - 160с.