

УДК 519.001.18:629.78

МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

На основе теории цепей Маркова с дискретными состояниями и непрерывным временем разработана модель прогнозирования параметрической надежности измерительно-вычислительных комплексов (ИВК), применение которой позволяет определить несколько работоспособных состояний ИВК с различными уровнями эффективности функционирования, определяемыми вероятностью безотказности параметров ИВК и степенью приближения их значений к верхней границе поля допуска

С.С. Федин

Кандидат технических наук, доцент*
Контактный телефон 8 (044) 256-29-14
E-mail: sergey_fedin@bigmir.net

К.А. Красюк

Магистр*
Контактный телефон 8 (044) 256-29-14
E-mail: Katryn 87@bigmir.net

*Кафедра метрологии, стандартизации и сертификации
Киевский национальный университет технологий и дизайна

Р.М. Трищ

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой
Кафедра охраны труда, стандартизации и сертификации
Украинская инженерно-педагогическая академия
г. Харьков
Контактный телефон 8 (057) 733-78-24
E-mail: trich_@ukr.net

Введение

Обеспечение надежности измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) зависит от своевременного контроля и технического обслуживания, основной задачей которого является предупреждение постепенных и внезапных отказов различными методами прогнозирования. Задачей прогнозирования надежности ИВК является оценка количественных показателей надежности на основе исследования динамики постепенных (параметрических) и анализа внезапных (функциональных) отказов. При этом актуальным является разработка моделей прогнозирования дрейфа параметров ИВК, так как информация о характере процессов дрейфа параметров позволяет оценивать

ожидаемую продолжительность срока службы и устанавливать регламент плановых осмотров ИВК [1].

Анализ исследований С.В.Крауза [2], И.Б.Шубинского [3], И.О.Автомяна [4] показывает, что решение задачи прогнозирования технического состояния и надежности ИВК можно рассматривать в двух аспектах, когда прогноз осуществляется в условиях полной априорной определенности и в условиях ограниченности исходных данных.

Основу алгоритмов прогнозирования технического состояния ИВК на этапе эксплуатации при полной определенности исходных данных составляют классические методы математической статистики, например метод наименьших квадратов или метод максимального правдоподобия [5]. Ограниченность априорных сведений чаще всего характеризуется отсутствием полного

статистического описания процесса дрейфа параметров ИВК, который может быть представлен в виде аддитивной модели, включающей нестационарный случайный процесс необратимых изменений параметров и стационарный случайный процесс обратимых изменений параметров под воздействием внешних условий. Для формального описания случайных процессов дрейфа параметров на этапе эксплуатации одними из наиболее эффективных методов являются цепи Маркова [6].

Целью статьи является разработка модели прогнозирования дрейфа параметров измерительно-вычислительных комплексов на основе теории цепей Маркова с дискретными состояниями и непрерывным временем.

Анализ процесса прогнозирования дрейфа параметров ИВК

Для прогнозирования дрейфа параметров ИВК могут быть применены методы прямого или обратного прогнозирования. Сущность прямого прогнозирования состоит в определении состояния объекта прогнозирования в упрежденный момент времени, являющийся правой границей заданного интервала упреждения [1].

Целью обратного прогнозирования является определение работоспособности технического объекта [2]. При этом отличие прямого прогнозирования от обратного заключается в том, что в первом случае необходимо определять значение прогнозируемого параметра в заданный будущий момент времени, а во втором – будущий момент времени, при котором параметр достигнет верхней границы допуска (ВГР). Обратное прогнозирование называют прогнозированием надежности [1]. Обслуживание ИВК основано на оценке их технического состояния, которое полностью характеризуется набором его выходных сигналов y_1, \dots, y_n . В качестве основных параметров могут рассматриваться: мощность, частота, фаза, длительность импульсов, напряжение, ток или некоторые системные характеристики, например чувствительность, точность и др [3]. Дрейф параметров технических объектов, т.е. изменение вектора $Y(t) = |y_1, \dots, y_n|$ происходит под воздействием множества факторов, сложность учета которых заставляет рассматривать процесс изменения параметров как некоторую случайную функцию времени. С учетом воздействия дестабилизирующих факторов случайный процесс дрейфа параметров можно аппроксимировать выражением (1):

$$Y(t) = \zeta(t) + \psi(t), \tag{1}$$

где $\zeta(t)$ – нестационарный (обычно монотонный) случайный процесс необратимых изменений параметров; $\psi(t)$ – стационарный случайный процесс обратимых изменений параметров под воздействием внешних условий [2]. Необратимые изменения параметров, происходящие в ИВК, обычно вызываются старением и износом. Причинами старения является диффузия вещества, изменение структуры материала, химические взаимодействия и т.д. Воздействие температуры, влажности, перегрузок и других внешних факторов ускоряет процессы старения. Наряду со старением на этапе эксплуатации имеет место износ, проявляющийся

ся в стирании трущихся механических поверхностей, электрических контактах. Наиболее распространенной формой моделей случайного процесса необратимых изменений параметров является модель вида (2):

$$\zeta(t) = \sum_{j=0}^n a_j [\varphi_j(t)]^m, \tag{2}$$

где a_j – случайные величины; $[\varphi_j(t)]^m$ – непрерывные детерминированные функции времени, $j = 0, n$. Представление (2) можно интерпретировать как разложение случайного процесса по детерминированному базису. В качестве базисных функций чаще используются линейные, экспоненциальные или степенные функции. При этом в большинстве практических случаев порядок моделей (2) соответствует $m \leq 2$. Наиболее распространенной аппроксимацией случайного процесса изменений параметров вида (2) является линейная аппроксимация (3):

$$\zeta(t) = a_0 + a_1 t, \tag{3}$$

или экспоненциальная зависимость (4):

$$\zeta(t) = \lambda e^{at}, \tag{4}$$

где λ – интенсивность параметрических отказов ИВК; a – положительное или отрицательное ускорение процесса старения и износа ИВК. Линейные случайные процессы служат удобной моделью процессов старения и износа, требуют минимального количества экспериментальных данных и позволяют с достаточной для практики точностью оценить реальные изменения параметров. Обратимые изменения параметров $\psi(t)$ согласно (1) являются стационарными процессами и могут рассматриваться как некоторая высокочастотная (по сравнению с процессами старения или износа) составляющая случайного процесса изменения параметров. Случайная обратимая составляющая обусловлена флуктуациями температуры, давления, влажности окружающей среды, электрической или механической нагрузками напряжения питания, электромагнитными полями, ядерной радиацией [1-3].

Описание процесса дрейфа параметров ИВК с учетом необратимых и обратимых изменений можно осуществлять в виде ортогональных канонических разложений, при использовании которых любой случайный процесс может быть описан в виде ряда, состоящего из комбинации неслучайных функций и некоторых некоррелированных случайных величин, например в виде зависимости (5):

$$Y(t) = m_y(t) + \sum_{i=1}^N V_i f_i(t), \tag{5}$$

где $m_y(t)$ – детерминированная функция, представляющая собой математическое ожидание случайного процесса $Y(t)$, V_i – некоррелированные случайные величины, математические ожидания которых равны нулю; $f_i(t)$ – неслучайные координатные функции времени [1]. Алгоритм прогнозирования дрейфа параметров ИВК представлен на рисунке 1.

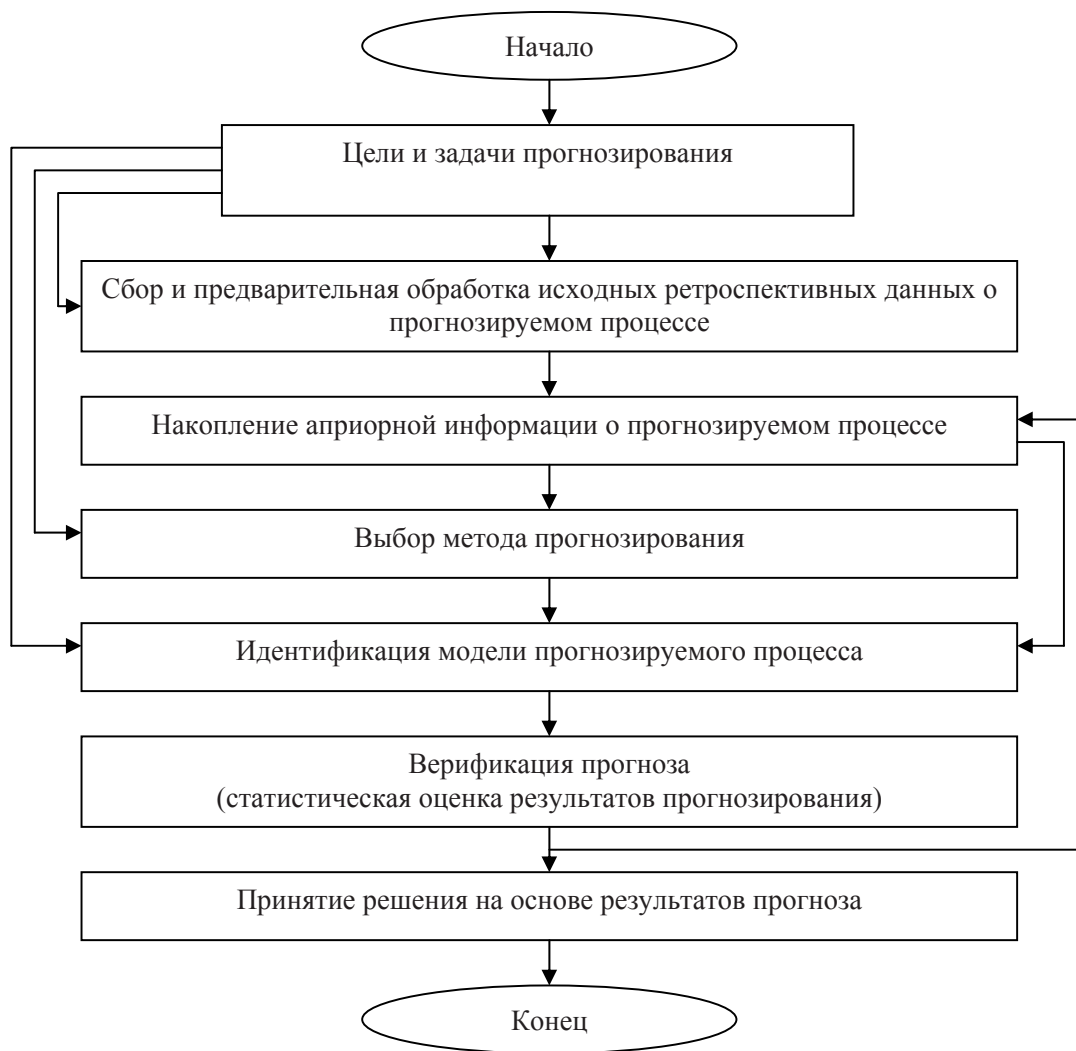


Рисунок 1. Алгоритм процесса прогнозирования

Наиболее важным этапом алгоритма прогнозирования является выбор модели дрейфа параметров, который определяет математическую формализацию задачи прогноза, сложность расчетов и точность получаемых оценок.

Разработка модели прогнозирования дрейфа параметров ИВК

В процессе эксплуатации параметры ИВК претерпевают различные изменения, которые носят случайный монотонный или флуктуирующий характер и приводят к постепенным – параметрическим отказам, обнаружение и оценку которых можно осуществлять на основе специальных методов прогнозирования. С понятием параметрический отказ тесно связано понятие исправности ИВК, под которой понимается состояние ИВК, при котором все нормируемые параметры соответствуют установленным требованиям. Способность ИВК сохранять исправность всех параметров в течение заданного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации называется параметри-

ческой надежностью [4]. Задача оценки надежности ИВК, состоит в нахождении начальных изменений параметров и построении математической модели дрейфа параметров, экстраполирующей полученные результаты на большой интервал времени. Поскольку изменение параметров во времени представляет случайный процесс, то основным инструментом построения математических моделей является теория случайных процессов.

При построении модели прогнозирования необходимо учитывать тот факт, что с течением времени при воздействии факторов внешней среды и использовании различных режимов эксплуатации значение каждого параметра ИВК стремится к своему наиболее вероятному состоянию. Таким состоянием с учетом нестационарности процесса дрейфа параметров является ВГР допуска параметра, а задача прогнозирования надежности заключается в оценке вероятности безотказности измерительного комплекса по каждому параметру.

Необходимо отметить, что специфика проблемы параметрической надежности ИВК состоит в неправомерности основного положения классической теории

надежности о постоянстве во времени интенсивности отказов. Классическая теория надежности ориентирована в основном на изделия, обладающие работоспособным или неработоспособным состояниями. Постепенное изменение параметров ИВК по линейной, экспоненциальной или какой-либо другой зависимости дрейфа позволяет ввести сколь угодно много работоспособных состояний с различным уровнем эффективности функционирования, определяемым степенью приближения параметра к ВГР.

Для определения вероятности нахождения параметра ИВК в том или ином состоянии наиболее эффективными являются параметрические математические модели на основе Марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем [6]. Анализируемой величиной Марковской модели прогнозирования является значение параметра, выраженное в процентах от ВГР. При этом, допустимый диапазон значений этой величины делится на несколько интервалов. Каждый интервал рассматривается как отдельное состояние, в котором параметр может находиться с некоторой вероятностью, переходя из одного состояния в другое по определенным правилам. Количество состояний определяется желаемой точностью оценок и объемом доступной выборки результатов наблюдений. Например, если для типового состояния системы выбрать 20%-ный интервал, то состоянию X_0 будет соответствовать диапазон от 0% до 20%, состоянию X_1 – от 20% до 40% и так далее. Состоянию X_4 будет соответствовать 100%-й износ, т.е. достижение параметром ВГР (рис.2).

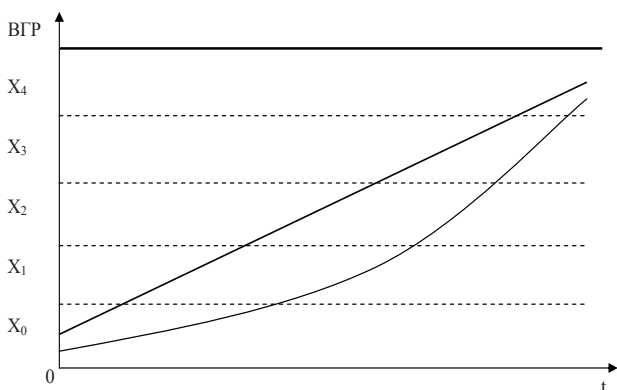


Рисунок 2. Линейная и экспоненциальная модели дрейфа параметров

Модель для описания динамики переходов между состояниями может быть представлена ориентированным графом (рис.3), в котором вершины (прямоугольники) соответствуют состояниям, а дуги (стрелки) соответствуют переходам. Процесс дрейфа параметров может рассматриваться как случайное блуждание по графу из одного состояния в другое согласно направлениям дуг, при непрерывном времени. Переходы между состояниями, являющиеся результатом воздействия среды мгновенны и происходят в случайные моменты времени. Математическое описание этих переходов характеризует влияние среды на ИВК. Переходы по графу возможны только в следующее состояние. Каждое состояние соответствует некоторому диапазону степени износа параметра, выраженному в процентах

от ВГР. Состояние X_4 соответствует полному износу параметра и не имеет выходов.

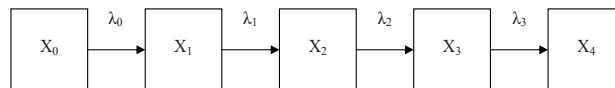


Рисунок 3. Состояния X_i ($i=0,1,2,\dots,n$), $n=4$: состояние X_0 – 0% износа параметра; состояние X_4 – 100% износ параметра; λ_i ($i=0,1,2,\dots,n-1$) – интенсивность параметрических отказов

Динамика изменения во времени вероятностей нахождения параметров ИВК в пяти различных состояниях (рис.3) описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова (5):

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda_0 p_0(t) \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = -\lambda_1 p_1(t) + \lambda_0 p_0(t) \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = -\lambda_2 p_2(t) + \lambda_1 p_1(t) \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = -\lambda_3 p_3(t) + \lambda_2 p_2(t) \\ \frac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_3 p_3(t) \end{cases} \quad (5)$$

где $p_0(t), p_1(t), p_2(t), p_3(t), p_4(t), p_5(t)$ - вероятности нахождения параметра в состояниях $X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ в момент времени t .

Необходимо отметить, что интенсивности параметрических отказов ИВК – λ_i различны. Для интегрирования системы уравнений (5) необходимо задать начальные условия (6):

$$p_0(0), p_1(0), \dots, p_n(0), ; \sum_{i=0}^n p_i(0) = 1 \quad (6)$$

а также учитывать нормализующее условие, которое должно выполняться в любой момент времени (7):

$$\sum_{i=0}^n p_i(t) = 1. \quad (7)$$

Для определения значений коэффициентов λ_i модели (5) необходимо на основе статистических данных отказов параметров ИВК идентифицировать закон параметрической надежности и применить один из статистических методов получения оценок коэффициентов λ_i , например метод максимального правдоподобия [7]. После получения оценок коэффициентов λ_i , численным интегрированием системы уравнений (5), например методом Рунге-Кутты 2-го порядка, определяются прогнозируемые значения вероятностей нахождения параметров в различных состояниях, т.е. вероятности безотказности параметров ИВК.

Выводы

1. Обоснована целесообразность применения математического аппарата цепей Маркова для прогнози-

рования параметрической надежности измерительно-вычислительных комплексов.

2. Разработана модель прогнозирования дрейфа параметров измерительно-вычислительных комплексов на основе теории цепей Маркова с дискретными состояниями и непрерывным временем. Применение модели позволяет учитывать несколько работоспособных состояний с различными уровнями эффективности функционирования, определяемыми вероятностью безотказности параметров измерительно-вычислительных комплексов и степенью приближения их значений к верхней границе поля допуска.

Литература

1. Чернов В.Ю., Никитин В.Г., Иванов Ю.П. Надежность авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов: Учеб. пособие. - СПб.: СПбГУАП, 2004. - 96 с.

2. Крауз С.В., Синдеев И.М., Захаров А.В. Основы технической эксплуатации оборудования летательных аппаратов. - М.: МВВИА им. Жуковского, 1964. - 331 с.
3. Шубинский И.Б. Николаев В.И., Колганов С.К., Заяц А.М. Активная защита от отказов управляющих модульных вычислительных систем. - СПб.: Наука, 1993. - 281 с.
4. Надежность автоматизированных систем управления: Учеб. пособие для вузов / И.О. Автомян, А.С. Вайрадян, Ю.П. Руднев, Ю.Н. Федосеев, Я.А. Хетагуров. - М.: Высш. шк., 1979. - 287 с.
5. Силин В.Б., Заковряшин А.И. Автоматическое прогнозирование состояния аппаратуры управления и наблюдения. - М.: Энергия, 1973. - 336 с.
6. Кемени Дж. И Снелл Дж. Счетные цепи Маркова. - М.: Наука, 1987. - 416 с.
7. Протасов К.В. Статистический анализ экспериментальных данных. - М.: Мир, 2005. - 142 с.

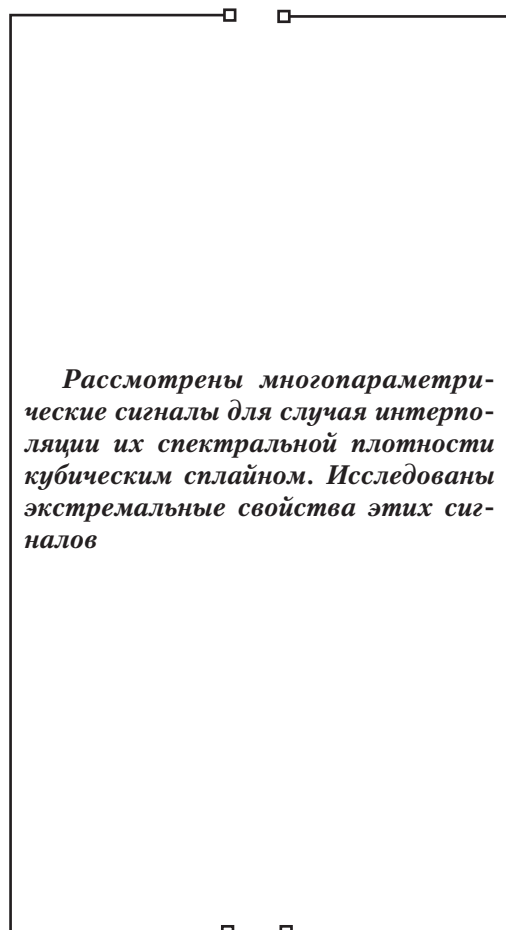
УДК 621.391.24

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МНОГО- ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СЕЛЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ СПЛАЙН- ИНТЕРПОЛЯЦИИ

И. В. Стрелковская

Кандидат физико-математических наук, доцент, декан
Факультет информационных сетей
Одесская национальная академия связи

ул. Кузнечная 1, г.Одесса, Украина, 65029
Контактный тел.: (048) 723-22-44
e-mail: dekanat_is@rambler.ru



В [1], [2] были рассмотрены многопараметрические селективные сигналы для случая интерполяции их спектральной плотности кубическим сплайном. Получено аналитическое выражение для селектив-

ных сигналов, которые зависят от параметров и найдено для них выражение полной энергии. Цель этой статьи - исследовать эти сигналы на экстремальные свойства.