

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ СЛОЖЕННЫХ СИСТЕМ

Надёжность технических систем является достаточно важной характеристикой. Несмотря на существование стандарта, на определение понятия надёжности, последняя допускает достаточно широкую интерпретацию своей серьёзности, которая обуславливается универсальностью этой характеристики. Поэтому, существует целый ряд подходов и методов решения задач, связанных с её определением, обеспечением, измерением её величин и других аспектов, касающихся надёжности технических аспектов.

Рассмотрим известные подходы к решению проблем связанных с надёжностью технических объектов. В соответствии с известными работами (1,2,3) к таким проблемам относятся следующие:

- построение математических моделей процесса эксплуатации системы;
- разработка методов интерполяции или модели интерполяции математической модели процесса эксплуатации объекта;
- определение мер надёжности;
- разработка методов оценки величины надёжности;
- методы оптимизации структуры системы обеспечения надёжности объекта и другое.

Для решения задачи построения математической модели процесса функционирования объекта, необходимо идентифицировать процесс его функционирования. В этом случае необходимо определить следующее:

- наиболее важные свойства системы, которые существенно влияют на её надёжность;
- методы определения значения надёжности системы;
- модель структуры надёжности;
- описать модели надёжности, которые используются в теории надёжности систем;
- множество состояний, которые соответствуют надёжным и ненадёжным случаям;
- способы информационных исследований надёжности процессов функционирования систем;
- описать методы анализа информационных данных, которые касаются показателей надёжности;
- общую модель надёжности процесса функционирования исследуемой системы.

Наиболее возможными параметрами системы, которые используются при исследовании надёжности систем реального времени, являются следующие:

- непрерывность функционирования системы в интервале времени выполнения определённых функций, на решение которых она ориентирована;
- зависимость от внешних факторов;
- многофункциональность системы;
- прогнозируемость процесса функционирования системы в заданном интервале времени;
- временные ограничения на решение отдельных задач исследуемой системой.

Существуют следующие методы определения величин значения надёжности:

- аналитические;
- статистические.

К аналитическим методам относятся:

- методы, которые состоят в определении событий, связанных с изменением надёжности, используемые аксиомы и утверждения теории вероятностей и применяются в основном к системам, не подлежащим восстановлению;
- методы уравнений состояний, основывающиеся на теории дискретных процессов и цепей Модеркова (4), которые описываются системами дифференциальных уравнений, решение которых позволяет определить величины степени надёжности систем;
- методы дополнительных состояний, которые состоят во введении дополнительных промежуточных состояний таким образом, чтобы фазовое пространство соответствующих процессов перешло в процессы Маркова, что позволяет формировать для них систему дифференциальных уравнений.

К основным параметрам надёжности относятся следующие, используемые в теории надёжности, параметры:

- время наработки на отказ  
$$\mu_0 = E[\Psi_0]$$
- время безотказной работы  
$$\mu_1 = E[\Psi_1]$$
- коэффициент готовности  
$$K = \lim_{t \rightarrow \infty} P_z\{Z(t)=1\}$$

где  $\Psi_x: x \in X$  – временной ряд.

В теории надёжности используются два типа моделей надёжности:

- модели надёжности для описания двух состояний исследуемого

объекта, которые означают его исправность или неисправность;

- модели надёжности, описывающие много возможных состояний, которые можно рассматривать как промежуточные между двумя состояниями, приведенными выше.

Использование моделей надёжности с двумя состояниями достаточно широко распространено. Эта модель предполагает, что система как и все её элементы либо исправна, либо неисправна. Поэтому множество состояний системы при использовании этого типа моделей надёжности,  $X=\{0,1\}$ .

Одним из общих подходов к построению моделей надёжности состоит в описании последней в виде временного ряда изменения состояний объекта и интервалов времени, которые заключены между соответствующими изменениями, формально такая модель описывается в следующем виде:

$$A=(\Gamma, X, Y, Q, S, X^{(0)})$$

где  $A$  - конечный автомат,  $q: Y \times \Gamma \rightarrow X$  - функция изменения состояния надёжности системы, который в момент  $t \in \Gamma$  принимает значение  $X^{(t)}=Z(t)=q(Y, t)$ , при этом  $Z(t)$  представляет собой реализацию бинарной случайной переменной,  $Y=(Y_2, Y_2, \dots, Y_R) \in Y$  бинарный вектор состояния элементов, принимая во внимание, что структура модели надёжности является динамической, то функцию необходимо представить в виде алгоритма как последовательность состояний в виде ориентированного града  $Q=(W, V)$ , где  $W$  множество вершин града  $W=\{W_1, \dots, W_J\}$ , при этом  $W_1$  вершина начала града,  $W_J$  вершина конца града,  $V$  множество рёбер града,  $V=\{U_1, \dots, U_K\}$ ;  $S: X \times N \rightarrow \Gamma$  - функция изменения времени пребывания системы в последовательно выступающих состояниях  $X \in X$ , в дискретных точках  $N \in N$  - эта функция принимает значение  $S(x, n)=\Psi_{x, n}$  где  $\Psi_{x, n}$  реализация случайной переменной  $\Psi_x$  или временной последовательности  $\Psi_x$ ;  $X^{(0)} \in X$  - состояние надёжности системы в начальный момент эксплуатации, которое, по определению равно  $t^{(0)}=0$  и система является работоспособной, после этого  $X^{(0)}=q(y^{(0)}, t^{(0)})=1$ .

Из приведённого выше ясно, что для полного определения автомата  $A$  необходимо:

- провести оценку и верификацию случайных переменных  $\{\Psi_x\}$ , а также временной последовательности  $\{\Psi_x\}$ ;
- определения вида функции изменения состояния надёжности системы  $q$ .

Использование этого подхода требует проведения исходных экспериментов над объектами, проведение оценки вероятностных параметров на основании данных, которые получены в процессе экспериментальных исследований. Примером вычисления ожидаемого значения случайной переменной может служить М-оценка, которая осуществляется с помощью следующего рекуррентного соотношения:

$$\mu_{k,x,n}^{(s+1)} = \mu_{k,x,n}^s + [\sigma_{k,x,n} \sum_{j=1}^J \xi(\Psi_{k,x,n}^{(j)} - \mu_{k,x,n}^s) / \sigma_{k,x,n}] / J_{k,x,n}$$

где критерием остановки рекуррентного процесса является соотношение

$$\left| \mu_{k,x,n}^{(s+1)} - \mu_{k,x,n}^s \right| \leq \varepsilon, \text{ где } \varepsilon > 0 \text{ определяет точность оценки ожидаемой}$$

величины случайной переменной  $\Psi, \sigma_{k,x,n}$ .  $M$  - оценка отклонения стандартной случайной переменной  $\Psi_{k,x,n}$ .

В теории надёжности в большинстве случаев используются функции распределения случайных переменных Вейбула, показательно и логарифмически нормальные. Случайные переменные в технических системах означают длительность периодов пребывания технических систем в последовательных состояниях надёжности. Для технических систем принято период их функционирования разбивать на три фазы [и]:

- фаза до отладки и адаптации системы к реальным условиям эксплуатации, в которой выявляются неисправности, обусловленные ошибками при проектировании и изготовлении. Для этой фазы предпочтительно используется функция распределения Вейбула;
- фаза нормальной эксплуатации, в которой происходит минимальное количество неисправностей;
- фаза старения и износа объектов, в которой чаще появляются неисправности и в ней преимущественно используются степенные и логарифмически нормальные функции распределения.

Можно записать следующую общую функцию распределения для всех фаз процесса эксплуатации:

$$F = \{F_1(\Psi), F_2(\Psi), F_3(\Psi)\},$$

где каждая из функций является функцией распределения случайной переменной. Функция распределения случайной переменной для первой фазы запишется в виде распределения Вейбула:

$$F_1(\Psi) = 1 - \exp(-\Psi/\lambda),$$

где  $\lambda$  параметр структуры,  $\lambda$  параметр сдвига. Функция распределения для второй фазы процесса эксплуатации технического объекта запишется в виде степенной функции распределения:

$$F_2(\Psi) = (\Psi/\theta)^\delta,$$

где  $\delta$  масштабирующий параметр,  $\theta$  параметр сдвига. Функция распределения для третьей фазы процесса функционирования представляет собой логарифмически нормальную функцию распределения, которая запишется в виде:

$$F_3(\Psi) = 0.5 + \theta[(\ln \Psi - \mu)/\delta],$$

где  $\mu$  параметр сдвига,  $\delta$  структурный параметр

Очевидно, что данные, полученные в результате экспериментальных исследований, могут оказаться не существенными для реальных процессов функционирования технических объектов. Поэтому возникает задача оценки значимости полученных данных или оценки их существенности для

временных трендов, которые осуществляют процесс функционирования технических объектов с точки зрения их переходов в различные состояния надёжности. В теории статистических методов для решения этой задачи используется метод проверки статистических гипотез. Примером использования такого подхода к оценке существенности полученных данных о случайных переменных является  $\Psi_{k,x}$ .

Решение задачи подтверждения гипотезы Но состоит в выборе на множестве функций разложения таких функций F, для которых линейная модель регрессии наилучшим, в смысле минимальной среднеквадратической ошибки апроксимирует данные, полученные в эксперименте Ф, которые наносятся на сетке функций разложения, которые определены для каждого из диапазонов, для рассматриваемого случая. Функциональная сетка формирует прямоугольную систему координат, для которой величина абсциссы равна Ф, а величина ординаты у зависит от функций разложения, для которых данная сетка была определена. Для принятых выше функций распределения ординаты определяются в соответствии со следующими соотношениями: распределения Вейбула, показательного распределения, логарифмически нормального распределения

Для решения поставленной задачи, на сетке функциональных распределений наносятся значения координат, которые определяются по вычисленным точкам осей координат, а ординаты, в соответствии со своими функциями распределения.

Через точки координат проводится прямая линия, коэффициенты определяются методом наименьших квадратов.

Верификация случайных переменных состоит в проверке того, что определённая функция распределения соответствующей случайной переменной адекватно модели процесса, который генерирует соответствующие случайные переменные. Для этого формируется две гипотезы вида (2.1) с той разницей, что гипотеза  $H_0$  означает, что функция распределения соответствует эмпирически определённой функции распределения. В отличие от предыдущего случая, когда гипотеза  $H_0$  говорит о соответствии эмпирических значений случайных переменных принятым функциям распределения.

Для решения этой задачи используется тест на соответствие или – критерий Кошогорова, который основывается на использовании статистики.

Важной частью решения задач моделирования надёжности при использовании данного подхода является задача алгоритмической реализации соответствующих моделей, что по существу представляет собой компьютерное моделирование всего процесса исследования надёжности сложного технического объекта, который работает в режиме реального времени.

Компьютерное моделирование отличается от алгоритмической реализации той или иной модели тем, что она представляет собой

формирование алгоритма вычислений, который является адекватным исследуемой модели.

Компьютерная модель представляет собой некоторую систему алгоритмов, которые могут и не приводить к решению поставленной задачи, если последняя сформулирована в виде некоторой концептуальной модели, иллюстрирующей только возможный подход к решению задачи. При этом такая возможность основывается на корректном использовании выбранных математических средств. Численное решение задачи, которая описана в виде соответствующей концептуальной модели может быть и не достигнуто в силу того, что могут иметь место следующие факторы:

- при численной реализации процедур вычисления может оказаться, что процедуры вычисления являются не сходящими, что дискредитирует возможность подхода в целом;
- поскольку процесс построения модели предполагает проведение достаточно большой предварительной работы по проведению экспериментальных исследований, то необходимо реализовать процедуры, которые позволяют проверять достоверность полученных данных и их адекватность выбранными компонентами модели надёжности;
- проведение экспериментов с реальными объектами, которые касались бы процессов возникновения неисправностей или отказов сложных технических систем в большинстве случаев невозможно, поэтому в рамках компьютерного моделирования необходимо использовать достаточно широкий спектр имитационных. От точности имитации реальных процессов такими моделями в существенной мере зависит возможность решения задачи построения адекватной модели надёжности.

В рамках компьютерного моделирования, приведённые факторы определяют необходимость решать целый ряд задач, алгоритмы решения которых ещё не являются алгоритмами самих моделей надёжности сложных технических объектов. В связи с этим, рассмотрим вкратце методы решения некоторых из перечисленных задач, которые необходимо решать в рамках рассмотренного, в качестве примера, подхода к построению моделей надёжности сложных технических объектов реального времени.

Первой задачей, которую необходимо решить, является задача определения количества повторений моделирующих экспериментов, целью которых является генерация реализации временных рядов, элементами которых являются случайные переменные.

Оптимальное количество повторений компьютерных экспериментов определяется в соответствии с соотношением:

Очередной задачей, которая должна решаться в рамках компьютерной модели, является задача построения генератора для генерации временных последовательностей и ряд других задач.

1. *Dodson B., Nolan D. Reliability Engineering Handbook. Marcel Dekker Inc., 1999.*
2. *Shooman M.L. Reliability of computer systems and networks. Fault tolerance, analysis and design. John Wiley & Sons Inc., New York, 2002*
3. *Бургер И.А. Техническая диагностика. М.:Машиностроение, 1978.*
4. *Математическая статистика. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001*

*Поступила 19.01.2009р.*

УДК 621.3

С. О.Нікулін

## **ОСНОВНІ ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ**

Використання комп'ютерних мереж для розв'язку широкого кола задач привело до необхідності дослідження та розв'язку проблем захисту інформаційних технологій, що представляють собою сукупність апаратних засобів у вигляді комп'ютерної мережі системного програмного забезпечення, програмних засобів, що розв'язують окремі прикладні задачі, засоби технологічного забезпечення та цілий ряд інших компонентів, які в залежності від задачі, яка розв'язується можуть використовуватися в рамках локальної комп'ютерної мережі. Досить часто комп'ютерна мережа доповнюється спеціалізованими засобами, особливо якщо предметом розв'язку задачі передбачається співпраця комп'ютерної мережі з технічною системою, в рамках якої відбувається управління, якими передбачається здійснювати відповідне комп'ютерною мережею. В цьому випадку розширення стандартної конфігурації комп'ютерної мережі здійснюється шляхом підключення до неї цілого ряду пристроїв різної функціональної орієнтації. Небезпеки, які існують по відношенню до будь-якої інформаційної технології, обумовлюються наступними факторами:

- характером прикладної задачі, що рішається в рамках відповідної комп'ютерної мережі;
- від параметрів засобів, що використовуються у відповідній системі;
- від характеру зв'язку між інформаційною технологією, що реалізується у відповідній системі та зовнішніми системами чи об'єктами, що тим чи іншим чином пов'язані або залежні від даної системи управління, що розглядається.

Характер прикладної задачі є одним з основних факторів, що обумовлює активність зовнішніх небезпек по відношенню до системи управління і відповідно до об'єкту управління. Оскільки основною ціллю довільних