

УДК 658.012.011

Ю.М. Боромянский

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА СТРАТЕГИЙ
ОБСЛУЖИВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

В настоящее время возникает необходимость в решении задач, направленных на повышение показателей эффективности работы сложных систем [1]. Подобные задачи решаются во многих областях — атомная энергетика [2], производственные комплексы, приборостроение и др. В современной науке в последние десятилетия развивается аппарат математической и статистической теории надежности [3,4,5], помогающий в решении подобных задач. Поиск решений становится невозможным без привлечения программных средств и аппаратных возможностей вычислительной техники. В настоящее время разрабатывается множество математических моделей, описывающих поведение систем во времени. Модели могут быть предназначены для прогноза как качественных, так и количественных изменений, происходящих в различных устройствах. Они дают возможность выделять основные особенности систем, их достоинства и недостатки. С помощью математических моделей возможно проведение оптимизации работы систем их контроля и профилактики [6,7]. Разработке таких моделей и их программной реализации посвящена данная статья. В настоящее время широко используется асимптотическая постановка задачи в математических моделях анализа надежности систем, но имеется ряд случаев, когда требуется решать задачу в неасимптотической постановке задачи. Асимптотические модели имеют недостаточную предсказательную точность они не могут прогнозировать изменения характеристик надежности систем, к которым предъявляются требования повышенной безотказности и надежности; не отображают реального поведения различных параметров надежности и др. Исходя из вышесказанного следует, что неасимптотические модели очень важны для определения характеристик функционирования систем, которые продолжают работать десятки лет, также их можно использовать при оптимизации характеристик надежности. Данные системы применяются для анализа возможности продления срока службы многих подсистем АС, так как вывод из эксплуатации такого рода систем, или их замены, является очень дорогостоящим. Разрабатываемые в математические модели могут применяться для оценивания остаточного ресурса оборудования, что дает возможность определить какие системы следует заменять, или выводить из эксплуатации, а какие нет. Неасимптотические модели отображают реальное поведение характеристик надежности и мы видим всю картину их изменения во времени. Кроме того, данные модели точнее оптимизируют период проведения профилактики, что является немаловажным фактором, обеспечивающим повышение надежности и в итоге — срока службы оборудования.

Система со стратегией, учитывающей периодическую профилактику, работает по следующим правилам. Она начинает функционировать в момент времени t_0 . Через промежуток времени T осуществляется проверка состояния системы с целью обнаружения отказа и длится промежуток времени θ . Система во время проверки отключается, если во время проверки был выявлен отказ системы — ξ , то осуществляется аварийная профилактика, которая длится случай-

ное время $\eta_{f r}$, если во время проверки системы не был выявлен отказ системы, то проводится плановая профилактика, которая длится случайное время $\eta_{m r}$. После аварийного или профилактического восстановления система продолжает работать до очередного момента отказа $-\xi$, или проведения проверки $-\tau_{i-1, r} + T$. Далее, после очередной проверки опять осуществляется регенерация, которая начинается в момент времени $\tau_{i-1, r} + T + \theta$ и длится до момента $\tau_{i r}$. Данная последовательность работы системы длится до момента времени t , в который требуется найти значение коэффициента готовности системы. На диаграмме приведенной ниже (рис.1) под $\xi_i, i = 1, n$ понимаются случайные моменты времени отказа, под $\tau_{1 f}, \tau_{2 f}$ понимаются промежутки времени от начала работы системы до очередного момента отказа системы, под $\tau_{1 r}, \tau_{2 r}$ понимаются промежутки времени от начала работы системы до момента окончания очередной регенерации.

Первый индекс в τ обозначает номер события, второй индекс тип события: f — отказ; r — восстановление. Также в плотностях распределения времени восстановления приняты следующие обозначения: f_m — восстановление в случае отказа системы (failure maintenance), r_m — восстановление, в случае если отказа не было (rebuild maintenance). Представим $\tau_{1 f}, \tau_{2 f}, \dots, \tau_{i f}$ и $\tau_{1 r}, \tau_{2 r}, \dots, \tau_{i r}$ через T, θ и случайные величины $\xi, \eta_{m r}, \eta_{f r}$.

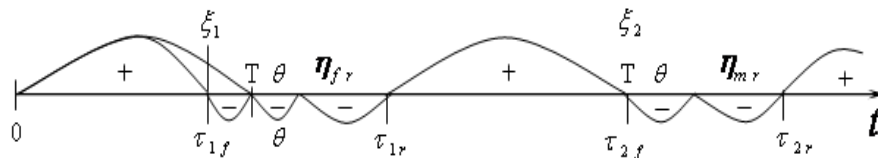


Рис. 1. Стратегия с профилактическим обслуживанием, с отключением системы во время проверки работоспособности

$$\begin{cases} \tau_{1 f} = \xi_1 I \{ \xi_1 < T \} + T I \{ \xi_1 > T \} \\ \tau_{1 r} = T + \theta + \eta_{m r} I \{ \xi_1 > T \} + \eta_{f r} I \{ \xi_{i+1} < T \} \\ \tau_{2 f} = \tau_{1 r} + \xi_2 I \{ \xi_2 < T \} + T I \{ \xi_2 > T \} \\ \tau_{2 r} = \tau_{1 r} + (T + \theta) + \eta_{m r} I \{ \xi_2 > T \} + \eta_{f r} I \{ \xi_2 < T \}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \tau_{i f} = \tau_{i-1, r} + T I \{ \xi_i > T \} + \xi_i I \{ \xi_i < T \} \\ \tau_{i r} = \tau_{i-1, r} + (T + \theta) + \eta_{m r} I \{ \xi_i > T \} + \eta_{f r} I \{ \xi_i < T \}, \end{cases}$$

где I – индикатор равный единице, в случае если событие стоящее в скобках истинно и нулю – в противном случае.

Представим функционирование системы в виде процесса $y(t)$. На рис. 2 приведена диаграмма изменения процесса.

$$y(t) = \begin{cases} E_0, & \text{если система в момент времени } t \text{ работает} \\ E_1, & \text{если система в момент времени } t \text{ простаивает} \\ & \text{в неработоспособном состоянии} \\ E_2, & \text{если в отключенной системе в момент времени } t \\ & \text{осуществляется проверка состояния} \\ E_3, & \text{если в системе в момент времени } t \text{ проводится ППР} \\ E_4, & \text{если в системе в момент времени } t \text{ проводится аварийное восстановление.} \end{cases}$$

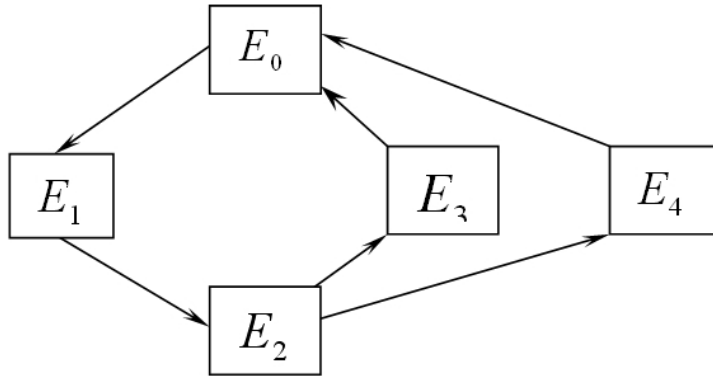


Рис. 2. Диаграмма переходов процесса $y(t)$

Покажем чему равняется функция распределения $F_{\tau_{i r}}(t)$ случайной величины $\tau_{i r}$ (момента регенерации).

$$F_{\tau_{i r}}(t) = P(\tau_{i r} < t) = \int_0^{t-T-\theta} [F_{\xi}(T)f_{\eta_{f r}}(y) + (1-F_{\xi}(T))f_{\eta_{m r}}(y)] F_{\tau_{i-1, r}}(t-T-\theta-y) dy. \quad (1)$$

Выражение (1) используется при выводе уравнения неасимптотического коэффициента готовности, который для данной модели можно записать как:

$$K(t) = \{H(T-t)((1-F_{\xi}(t))\} + \int_0^{t-T-\theta} [F_{\xi}(T)f_{\eta_{f r}}(x) + (1-F_{\xi}(T))f_{\eta_{m r}}(x)] K(t-T-\theta-x) dx. \quad (2)$$

Представленное выше уравнение, является уравнением Вольтерра второго рода. Сделав необходимые выводы, получим асимптотический коэффициент готовности

$$K_a = \frac{T - \int_0^T F_\xi(x) dx}{T + \theta + F_\xi(T)M(\eta_{f,r}) + (1 - F_\xi(T))M(\eta_{m,r})}. \quad (3)$$

Как видно из (3) асимптотический коэффициент готовности представляет собой константу, зависящую от T, θ , функции распределения наработки и математических ожиданий времен восстановления.

Теперь найдем математическое ожидание числа восстановлений, воспользуясь результатами из предыдущих моделей.

$$n(t) = (1 - F_\xi(T))F_{\eta_{m,r}}(t - T - \theta) + F_\xi(T)F_{\eta_{f,r}}(t - T - \theta) + \int_0^{t-T-\theta} [F_\xi(T)f_{\eta_{f,r}}(x) + (1 - F_\xi(T))f_{\eta_{m,r}}(x)] n(t - T - \theta - x) dx. \quad (4)$$

Взяв производную от (4) получим уравнение параметра потока восстановления.

$$w(t) = n'(t) = (1 - F_\xi(T))f_{\eta_{m,r}}(t - T - \theta) + F_\xi(T)f_{\eta_{f,r}}(t - T - \theta) + \int_0^{t-T-\theta} [F_\xi(T)f_{\eta_{f,r}}(x) + (1 - F_\xi(T))f_{\eta_{m,r}}(x)] w(t - T - \theta - x) dx. \quad (5)$$

Математическое ожидание числа отказов будет находиться как сумма функций распределения моментов отказов. Окончательный вывод даст следующую формулу математического ожидания числа отказов.

$$S(t) = H(t - T)(1 - F_\xi(T)) + F_\xi(t \wedge T) + (1 - F_\xi(T))n(t - T) + \int_0^{t \wedge T} f_\xi(x)n(t - x) dx, \quad (6)$$

где $n(t)$ определяется по формуле (4). Исходя из (6) параметр потока отказов будет находиться как производная математического ожидания количества отказов, по следующей формуле:

$$L(t) = \delta(t - T)(1 - F_\xi(T)) + f_\xi(t \wedge T) + (1 - F_\xi(T))w(t - T) + \int_0^{t \wedge T} f_\xi(x)w(t - x) dx. \quad (7)$$

В приведенном выше выражении параметр потока восстановления определяется по формуле (5). Вывод математического ожидания числа отказов и параметра потока отказов через самих себя представляет большую трудность, поскольку в данном случае приходится учитывать все предыдущие моменты отказов, которые сложно определить.

Представленная аналитическая модель была реализована программно в среде разработки Delphi под операционной средой Windows 2003 [8], с использованием технологии OLE при этом для расчетов применялись математические функции Excel. Программный комплекс был предназначен для расчета коэффициента готовности и стоимости обслуживания систем. Главная экранная форма информационной системы представлена на рис. 3. На ней отображен график изменения коэффициента готовности во времени.

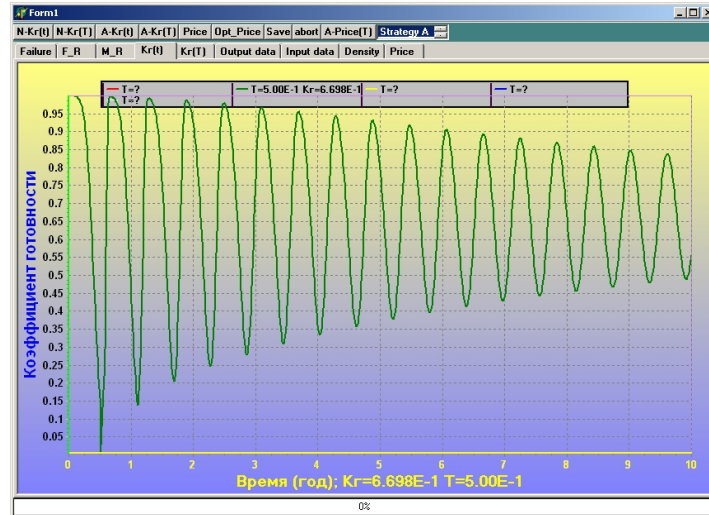


Рис. 3. Главная экранная форма

С применением данной системы была проведена оптимизация периодов профилактики асимптотического и неасимптотического коэффициента готовности, приведем сравнение оптимальных периодов профилактики в асимптотической и неасимптотической постановке задачи. При расчетах закон наработки был взят экспоненциальный с интенсивностью отказа 0,4, при $\theta = 0$. Законы распределения времени аварийной профилактики и профилактического восстановления были взяты нормальными с $\sigma = 0,02$, $M_0 = 0,1$ для аварийной профилактики и $\sigma = 0,01$, $M_0 = 0,03$ для предупредительной профилактики.

На рис. 4 асимптотический период профилактики представлен тонкой линией и неасимптотический — толстой линией. Как видно из этих графиков, есть некоторая разница между значением оптимального периода профилактики в условиях асимптотики и его значением в неасимптотике. Эта разница составляет в приведенном случае порядка трех недель. Конечно, различие между оптимальными периодами профилактики будет уменьшаться с течением времени. То есть, чем больше времени проработает система (и чем больше число раз она откажет), тем меньше будет разница между асимптотическим и неасимптотическим оптимальным периодом профилактики.

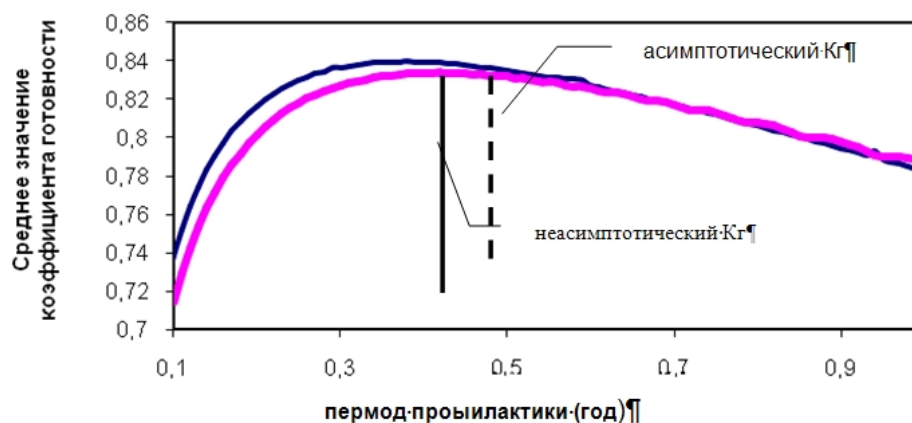


Рис. 4. Оптимизация периода профилактики

Большую роль в различии могут сыграть параметры законов распределения времени профилактического и аварийного восстановления, а также математическое ожидание наработки. Чем больше будет наработка, тем дольше в процессе эксплуатации системы будет сохраняться различие между представленными оптимальными периодами профилактики.

Отметим, что приведенная в данной статье модель может отображать состояние систем, в которых предусмотрена периодическая профилактика и отсутствует постоянный контроль. При осуществлении периодической проверки систему отключают, в том случае, если во время проверки отказ в системе не выявлен, то в системе осуществляется периодическая профилактика, в противном случае выполняется аварийная профилактика. Данные модели применяются в системах, в которых невозможно, или нецелесообразно осуществлять постоянный контроль, а также место отказа в системе обычно не известно в момент начала проведения проверки. Представленные модели могут применяться для расчета надежности таких систем как подсистемы СУЗ АС, автономные системы слежения за аэрокосмическими объектами, сложные производственные комплексы, моторы автомобилей и др. Для одних объектов проведение профилактических работ может происходить часто, для других редко, зависимости от типа объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барзилович Е.Ю., Каиштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. – М.: Советское радио, 1971. – 272 с.
2. Справочник по общим моделям анализа и синтеза надежности систем энергетики / Под ред. Руденко Ю.Н. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 474 с.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т.8 / Под ред. Кузнецова В.И. и Барзиловича Е.Ю. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
4. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
5. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
6. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. – М.: Радио и связь, 1988. – 357 с.
7. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем – М.: Высшая школа, 1982. – 325 с.

8. *Джеффри Рихтер*. Windows для профессионалов: создание эффективных Win32 приложений с учетом специфики 64-разрядной версии Windows. – М.: Русская редакция, 2001. – 752 с.

УДК 65.012

Д.С. Дрокин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ЭВМ

Электрические сети повсеместно окружают человека. Это как самые простые, такие как системы освещения, системы энергообеспечения квартир, так и более сложные, например, бытовые электрические приборы, телевизор, радио и т.д.

Что же такое электрическая сеть с точки зрения электроники. Электрическая цепь – это совокупность взаимосвязанных устройств и объектов, образующих замкнутый путь для электрического тока. Следовательно, электрическая цепь это не единый элемент, а совокупность взаимосвязанных элементов, т.е. система.

Задача моделирования электрических сетей возникает при исследовании свойств большинства современных сетей. Поэтому вопросам ускорения и повышения точности процесса исследования электрических сетей сейчас уделяется повышенное внимание [1]. Решение задачи моделирования электрических сетей способствует повышению эффективности научных исследований, созданию новых видов сетей, разработке эффективных технологий и систем управлений сетями, совершенствованию процесса сбора и обработки информации об электрических сетях.

На развитие теории и математических методов моделирования электрических сетей оказывает широкое распространение ЭВМ. Возможности современных ЭВМ позволяют моделировать переходные процессы в сложных электрических цепях. Для ускорения процессов исследования электрических цепей требовалось по-новому рассмотреть и процедуру формирования их уравнений, а также методы решения этих уравнений. В качестве переменных при построении моделей электрических цепей обычно принимаются токи индуктивных катушек и напряжения конденсаторов. Такие переменные называют переменными состояния электрической сети, а метод формирования дифференциальных уравнений, характеризующих состояние электрической сети, называется моделированием.

В настоящее время известно множество аналитических методов анализа простейших электрических цепей, в частности, метод уравнений Кирхгофа, метод эквивалентных преобразований, метод пропорционального пересчета, графоаналитический метод и др. Все эти методы эффективны при расчете небольших цепей, но когда количество ветвей и элементов превышает 10 – 20, необходимо затратить достаточно много времени, чтобы получить необходимые зависимости и проанализировать их. В зависимости от количества ветвей, узлов и элементов тратится от 10 до 30 минут для расчета вручную простейших схем, но на предприятиях, в инженерном деле редко встречаются простые схемы.