



УДК 621.3.019.3

А.В. ФЕДУХИН, В.П. ПАСЬКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ ПАКЕТА ПРОГРАММ RELIABmod

Анотація. Наведено опис спеціалізованого пакета програм RELIABmod v.2.0, що дозволяє методами статистичного моделювання і розрахунку прогнозувати надійність систем, що відновлюються і не відновлюються, які мають різноманітні структурні схеми надійності. Розглянуті приклади екранних форм пакета при моделюванні надійності системи зі структурою типу « k з n ».

Ключові слова: статистичне моделювання, структурна схема надійності, генератор випадкових чисел.

Аннотация. Приведено описание специализированного пакета программ RELIABmod v.2.0, позволяющего методами статистического моделирования и расчета прогнозировать надежность восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем, имеющих разнообразные структурные схемы надежности. Рассмотрены примеры экранных форм пакета при моделировании надежности системы со структурой типа « k из n ».

Ключевые слова: статистическое моделирование, структурная схема надежности, генератор случайных чисел.

Abstract. A description of the specialized RELIABmod v.2.0 software package that allows with the help of statistical modulation and calculation to forecast reliability of restorable and non-restorable systems, with a variety of structural schemes of reliability is suggested. Examples of screen package forms for modeling the reliability of the system with the structure of « k of n » type are considered.

Keywords: statistical modeling, structural reliability scheme, generator of random numbers.

1. Введение

Разработка и отладка аппаратных и программных средств информационно-управляющих систем (ИУС) является дорогостоящим процессом из-за сложности алгоритмов функционирования, продолжительности испытаний, необходимости использования уникального технологического оборудования и т.д. Поэтому совершенствование ИУС на этапе их проектирования на основе методов прогнозирования надежности является актуальной задачей.

Часто первые предложенные варианты ИУС не отвечают своим техническим требованиям по надежности. Найти наиболее эффективный, с точки зрения надежности, вариант исполнения ИУС можно с использованием методов статистического моделирования.

2. Моделирование надежности системы

Статистическое моделирование довольно часто используется в практике прогнозирования надежности. Его можно эффективно использовать для имитации результатов испытаний на надежность изделий и систем [1].

Методы статистического моделирования основаны на применении генераторов случайных чисел, распределенных по заданному закону распределения. В качестве случайной величины чаще всего выбирается время до отказа (на отказ) изделия. Статистическое моделирование позволяет получать статистические оценки всех количественных показателей

надежности, «виртуально отказывающих» в процессе статистического «эксперимента» изделий.

Методы статистического моделирования позволяют оценивать показатели надежности как элементов, так и систем. При моделировании систем под системой понимается любой объект, который можно представить в виде элементов, соединенных в одну из структурных схем надежности (ССН).

Для прогнозирования надежности ИУС методом статистического моделирования авторами разработан (в настоящее время имеется версия 2.0 этого продукта) специализированный программный продукт – пакет программ RELIABmod v.2.0.

Пакет программ RELIABmod v.2.0 позволяет производить прогнозирование надежности объектов, имеющих самые разнообразные структурные схемы надежности (ССН) (рис. 1) [2].

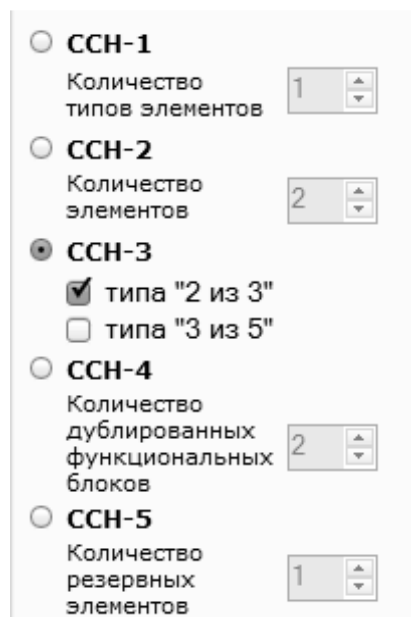


Рис. 1. Фрагмент экранной формы основного меню пакета

ССН-1 – объект состоит из последовательно соединенных элементов N типов по n_1, n_2, \dots, n_N элементов каждого типа, и отказ объекта наступает в результате отказа любого из всех типов элементов;

ССН-2 – объект состоит из параллельно соединенных однотипных элементов, и отказ объекта наступает в результате отказа всех элементов;

ССН-3 – объект состоит из n параллельно соединенных однотипных элементов, при этом минимальное число работоспособных элементов k (структура типа “ k из n ”), а отказ объекта наступает при отказе $(n - k + 1)$ элементов;

ССН-4 – объект состоит из параллельно соединенных (два канала) однотипных элементов (функциональных блоков), соединенных по квазимостиковой схеме;

ССН-5 – объект содержит один или r резервных элементов, находящихся в ненагруженном («холодном») режиме до начала выполнения ими функций основного элемента.

В отличие от известных программных продуктов [6, 7], RELIABmod v.2.0 имеет следующие особенности:

- осуществляет генерацию случайных величин, имеющих DN -распределение и экспоненциальное распределение;
- учитывает надежность восстанавливающего органа системы;
- учитывает возможности реконфигурации системы при отказе ее составных частей;
- учитывает тренд параметров надежности составных частей системы во времени;
- производит расчет количественных показателей надежности моделируемой системы по априорным данным о надежности элементов системы и по данным, полученным в результате моделирования надежности элементов;
- осуществляет графическое представление результатов моделирования.

Рассмотрим более подробно каждую из особенностей данного программного продукта.

Моделирование случайных величин. Способ моделирования случайных величин [1] основан на использовании генератора равномерно распределенных в интервале $[0, 1]$ псевдослучайных чисел, которые используются как значения вероятности отказа объекта. Задаваясь функцией распределения $F(t; s, v)$, можно выбирать случайное значение γ из равномерного распределения в интервале $[0, 1]$ и определять значение аргумента t_γ , для которо-

го $F(t; s, v) = \gamma$. Полученная таким способом случайная величина t_γ будет иметь заданную функцию распределения $F(t; s, v)$. Входными параметрами генераторов случайных чисел

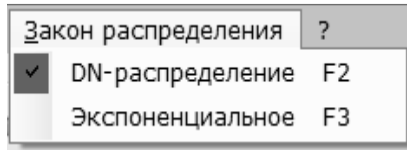


Рис. 2. Фрагмент меню выбора закона распределения случайных величин

являются математическое ожидание s случайной величины t для однопараметрических функций распределения или математическое ожидание s и коэффициент вариации v для двухпараметрических функций распределения.

Программный продукт RELIABmod v.2.0 позволяет осуществлять моделирование случайных величин с функцией DN-распределения и функцией экспоненциального распределения (рис. 2).

Функция DN-распределения имеет вид [2]

$$DN(t; s, v) = \Phi\left(\frac{t/s - 1}{v\sqrt{t/s}}\right) + \exp(2v^{-2})\Phi\left(-\frac{t/s + 1}{v\sqrt{t/s}}\right) = \gamma,$$

где $\Phi(z)$ – нормированное нормальное распределение;

s – математическое ожидание случайной величины t ;

v – коэффициент вариации случайной величины t .

Решая это уравнение относительно t , получим случайную величину t_γ , которая будет иметь заданную функцию распределения $DN(t; s, v)$.

Входными параметрами генератора случайных чисел по DN-распределению являются математическое ожидание s и коэффициент вариации v случайной величины t .

Функция экспоненциального распределения имеет вид

$$E(t; \lambda) = 1 - \exp(-\lambda t),$$

где λ – интенсивность отказов.

Для удобства использования проведем параметризацию функции экспоненциального распределения через параметр s , используя известное выражение $\lambda = \frac{1}{s}$.

Задаваясь функцией экспоненциального распределения и решая следующее уравнение относительно t :

$$E(t; s) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{s}\right) = \gamma,$$

получим случайную величину t_γ , которая будет иметь заданную функцию распределения $E(t; s)$:

$$t_\gamma = -s \ln(1 - \gamma).$$

Поскольку функция экспоненциального распределения является однопараметрической, то входным параметром генератора случайных чисел по экспоненциальному распределению является математическое ожидание s случайной величины t .

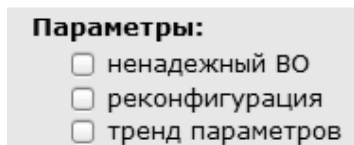


Рис. 3. Фрагмент экранной формы выбора параметров моделируемой системы

Учет надежности восстанавливающего органа (ВО) системы. В программном продукте предусмотрены следующие опции (рис. 3).

С практической точки зрения, не требует доказательств тот факт, что при высокой сложности контролируемой системы сам ВО становится также сложным, требует

значительных технических ресурсов и, как следствие, образует свой собственный поток отказов, сильно влияющий на надежность системы в целом [3].

Реконфигурация структуры системы. Системы со структурой элементов типа „ k из n ” являются работоспособными лишь при условии, если работоспособны хотя бы k элементов из n . Как только количество работоспособных элементов становится равным $(k - 1)$, то наступает отказ системы. В то же время элементы, которые остались работоспособными на момент отказа системы, еще не исчерпали свой ресурс, было бы рационально использовать их в работе после проведения реконфигурации системы из системы со структурой элементов „ k из n ” в систему с нагруженным резервом, которая состоит из $(k - 1)$ элементов. В случае структуры типа „2 из 3” результатом реконфигурации может стать нерезервированная система, состоящая из одного элемента, а в случае структуры типа „3 из 5” – обычная дублированная система.

Таким образом, путем изменения в процессе работы структуры системы и логической функции ВО, то есть снижением кратности резервирования и использованием элементов, которые остались исправными по новой схеме, можно достичь некоторого увеличения средней наработки до отказа невосстанавливаемой системы [4]. Если система восстанавливаемая и после ее реконфигурации и восстановления отказавшего элемента возможно возвращение к более высокому уровню избыточности, то выигрыш по надежности такой системы становится еще более ощутимым.

Тренд параметров составных частей. В рамках гипотезы о DN -распределении наработки до отказа (на отказ) средняя наработка на отказ восстанавливаемого объекта не является постоянной величиной во времени, а уменьшается с ростом суммарной наработки системы. Учет данного явления позволяет получить более достоверные результаты моделирования надежности такого класса систем [5].

Исследованиями установлено, что за пять лет непрерывной работы комплекта системы его средняя наработка на отказ может уменьшиться на величину порядка 40%.

$$T(t_{\Sigma}) = T \left\{ 0,05 + 0,95 \exp \left[\frac{(t_{\Sigma} - T)}{(5 \cdot 10^5 - T)} \cdot \{0,05 + \ln(T)^{-1}\} \right] \right\},$$

где T – средняя наработка до отказа комплекта системы, t_{Σ} – суммарная наработка комплекта системы.

Расчет надежности системы. Расчет надежности – процедура определения количественных показателей надежности объекта с использованием методов, основанных на их вычислении по данным о надежности составных частей и элементов объекта.

В рассматриваемом пакете программ исходными данными для расчета надежности объекта являются:

- априорные данные о надежности составных частей и элементов рассматриваемого объекта;
- оценки показателей надежности составных частей и элементов объекта, полученные путем моделирования («экспериментальным путем»).

В пакете RELIABmod v.2.0 применяются структурные методы расчета надежности, которые являются основными методами, используемыми в процессе проектирования объектов, поддающихся разукрупнению на составные части и элементы.

Математические модели, применяемые для описания соответствующих ССН, определяются видами и сложностью указанных структур и принятыми допущениями относительно видов законов распределения случайных величин. В рассматриваемом программном продукте расчет показателей надежности осуществляется, исходя из гипотезы о диффузионном законе распределения (ВФ-методом) и исходя из гипотезы об экспоненциальном законе распределения (лямбда-методом) [2].

3. Исходные данные и результаты моделирования некоторых типов систем

Для разработки программного продукта RELIABmod v.2.0 используется среда Microsoft Visual C# 2010.

Загрузка программы RELIABmod в память компьютера пользователя происходит после того, как пользователь запустит на выполнение файл RELIABmod.exe. Для этого нужно выбрать данный файл и нажать клавишу “Enter” либо дважды щелкнуть на нем или его ярлыке.

Работа начинается с указания объема выборки, выбора структурной схемы надежности, типа системы, закона распределения и дополнительных параметров, таких как:

- ненадежный восстанавливающий орган;
- реконфигурация;
- тренд параметров.

Через меню “Опции” > “Исходные данные” задаем величины средней наработки до отказа (на отказ) и коэффициента вариации наработки до отказа (на отказ) (рис. 4). Для восстанавливаемых систем задаются еще и среднее время восстановления и его коэффициент вариации (рис. 5).

Рис. 4. Фрагмент экранной формы ввода исходных данных для невозстанавливаемой системы

Рис. 5. Фрагмент экранной формы ввода исходных данных для восстанавливаемой системы

	Элемент 1	Элемент 2	Элемент 3	ВО
T	150	150	150	500
V	1	1	1	1

	Элемент 1	Элемент 2	Элемент 3	ВО
\hat{T}	168,5452	152,0054	162,2269	487,7006
\hat{V}	0,9179398	1,123993	1,035234	0,8048346

	ВФ-метод с использованием DN-распределения	По методу "слабого звена"
T_c	173,644	118,3299
V_c	0,8048346	0,5557662

Рис. 6. Экранная форма результатов моделирования невозстанавливаемой системы со структурой типа «2 из 3» и ненадежным ВО

После выборки всех параметров запускается моделирование через меню “Опции” > “Начать моделирование” или нажатием клавиши F5. После этого происходит генерирование N реализаций равномерно распределенных случайных чисел. Далее они преобразуются в случайные числа по выбранному закону распределения. По окончании работы программы результаты выводятся на экран.

Для невозстанавливаемой системы выводятся априорные и выборочные значения параметров надежности элементов системы, а также надежность системы в целом (рис. 6).

Кроме того, для восстанавливаемой системы предусмотрено поле «Протокол восстановления элементов системы», в котором выводится информация о проведенных восстановлениях – для каждого цикла моделирования перечисляются номера каналов, которые отказали, и моменты начала их восстановлений (рис. 7).

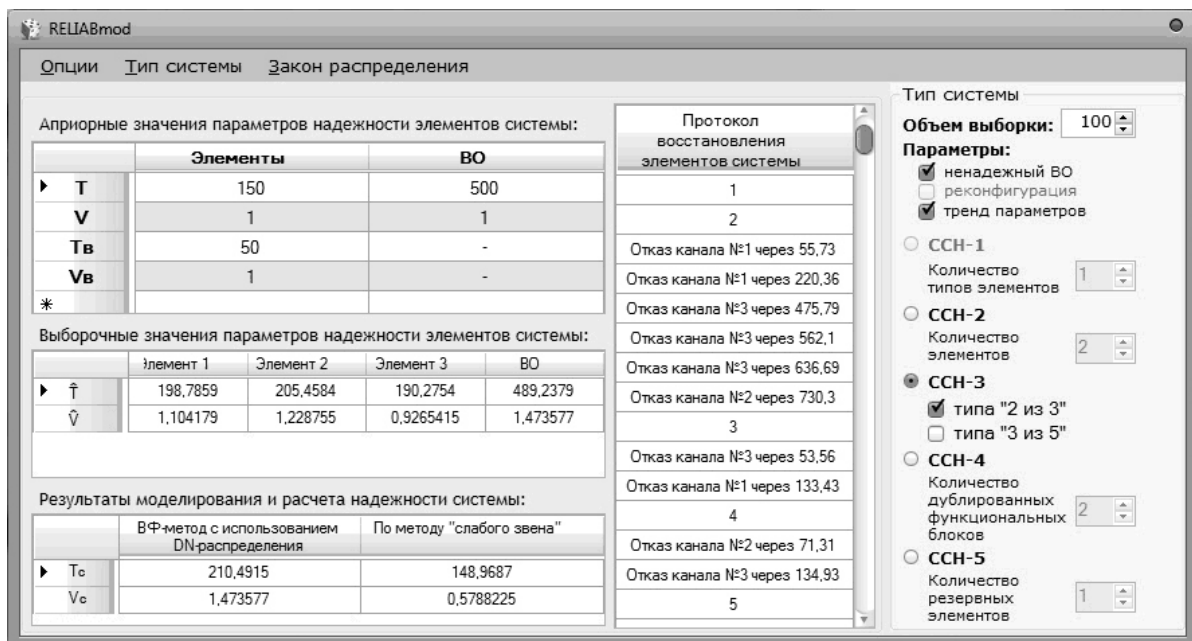


Рис. 7. Экранная форма результатов моделирования восстанавливаемой системы со структурой типа “2 из 3” с ненадежным ВО и учетом тренда параметров надежности элементов

В пакете имеется возможность построения по результатам моделирования круговой диаграммы статистики отказов для каждого канала системы (рис. 8), а для восстанавливаемых систем еще и статистики восстановлений (рис. 9).

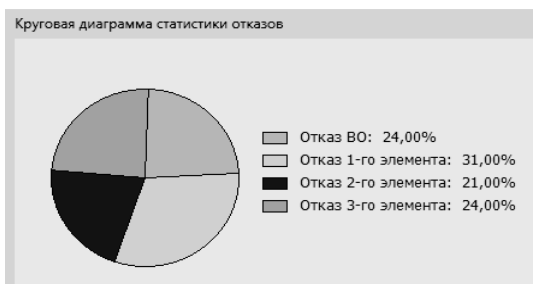


Рис. 8. Экранная форма статистики отказов системы



Рис. 9. Экранная форма статистики восстановлений системы

Завершить работу с программой RELIABmod можно, нажав находящуюся в верхнем правом углу кнопку “Заккрыть”. После этого программа выгрузится из оперативной памяти и освободит все системные ресурсы, которые она затребовала у операционной системы при своей загрузке.

4. Выводы

Разработанный программный продукт RELIABmod v.2.0 позволяет прогнозировать надежность систем на этапе их проектирования двумя методами: методом статистического моделирования и методом аналитического расчета.

В отличие от известных программных продуктов RELIABmod v.2.0 имеет следующие особенности:

- осуществляет генерацию случайных величин, имеющих DN -распределение и экспоненциальное распределение;
- учитывает надежность восстанавливающего органа системы;
- учитывает возможности реконфигурации системы при отказе ее составных частей;
- учитывает тренд параметров надежности составных частей системы во времени;
- производит расчет количественных показателей надежности моделируемой системы по априорным данным о надежности элементов системы и по данным, полученным в результате моделирования надежности элементов;
- осуществляет графическое представление результатов моделирования.

Расширенные возможности пакета программ позволяют более адекватно анализировать технические особенности и структуру системы, что в конечном итоге влияет на качество проектирования и снижает сложность системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федухин А.В. К вопросу о статистическом моделировании надежности / А.В. Федухин, Н.В. Сеспедес-Гарсия // Математичні машини і системи. – 2006. – № 1. – С. 156 – 163.
2. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
3. Федухин А.В. Моделирование надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным восстанавливающим органом / А.В. Федухин, Н.В. Сеспедес-Гарсия // Математичні машини і системи. – 2007. – № 2. – С. 125 – 131.
4. Федухин А.В. Моделирование надежности невосстанавливаемой системы со структурой типа «k из n» с реконфигурацией / А.В. Федухин, Н.В. Сеспедес-Гарсия // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – №7 (41). – С. 82 – 84.
5. Федухин А.В. Моделирование надежности восстанавливаемой резервированной системы с учетом тренда параметров надежности составных частей / А.В. Федухин // Математичні машини і системи. – 2007. – № 3, 4. – С. 239 – 244.
6. Гладкий В.С. Оценка структурной надежности методом статистического моделирования. Методические указания / Гладкий В.С., Малиновский С.Т., Новиков С.Н. – М., 1987. – 46 с.
7. Коняхин И.А. Методы и средства статистического моделирования ОЭС (анализ надежности): уч. пособ. / Коняхин И.А. – СПб.: ИТМО, 2005. – 50 с.

Стаття надійшла до редакції 23.09.2011