

3. Диваков, Н.Н. Переходные механизмы между IPv4 и IPv6 / Н.Н. Диваков, П.Л. Чечет // XIX Республиканская Научная конференция студентов и аспирантов «V Республиканская научная конференция «Актуальные вопросы физики и техники»». – 2016. – С. 75–76.

**С.С. Дик, Н.И. Цырельчук, С.М. Боровиков**

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЁЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

### **Введение**

Одной из важнейших учебных дисциплин профессиональной подготовки по специальности «Электронные системы безопасности» является дисциплина «Надёжность технических систем» (НТС). Для обеспечения указанных в типовой программе требований, предъявляемых к практической подготовке, служат лабораторные занятия, которые в значительной степени позволяют обеспечить требования программы учебной дисциплины в части реализации рубрики «обучающийся должен уметь...».

Возникает вопрос, что должен представлять собою лабораторный практикум по дисциплине «Надёжность технических систем»?

Классический подход к постановке и проведению лабораторных работ здесь не приемлем из-за того, что надёжность электронных устройств и систем является таким свойством, которое проявляется с течением длительного времени работы (наработки): тысячи и даже десятки тысяч часов. Какой же выход из положения?

Анализ показывает, что выходом из положения является математическое моделирование наработки электронных устройств и систем с использованием достижений информационных технологий. Лабораторный практикум должен представлять собой виртуальные лабораторные работы. Причём, слово «виртуальные» подчёркивает то, что исследуемые элементы, устройства, системы и их функционирование (длительная наработка и возникновение отказов) будут моделироваться в памяти ЭВМ. Итоговые показатели надёжности можно будет определить, выполняя обработку результатов моделирования.

## 1. Принципы создания виртуальных лабораторных работ

Анализ, проведённый при участии авторов, показал, что наиболее сложным этапом создания виртуального лабораторного практикума по дисциплине НТС является написание сценария к виртуальным лабораторным работам. Сценарий к виртуальным лабораторным работам, предлагаемый для программной реализации на ЭВМ, должен включать следующее:

- формулировку цели лабораторной работы;
- функциональное назначение электронной системы и режимы её работы;
- характеристику объекта и ресурсов (денежные, информационные, материальные ценности, персонал и т. п.), защищаемых электронной системой;
- количественный критерий, используемый для оценки надёжности электронной системы;
- действия студента в процессе проведения лабораторной работы.

## 2. Определение надёжности электронных систем

С методами расчёта и оценки надёжности электронных систем, не сводящихся к параллельно-последовательным или последовательно-параллельным хемам, можно ознакомиться в [1–3].

В ряде случаев технические системы, в том числе электронные системы безопасности (ЭСБ), имеют с точки зрения надёжности такую структуру соединения (или взаимодействия) их составных частей, которая не сводится к параллельно-последовательным или последовательно-параллельным схемам. Примером такой структуры может служить мостовая схема (рисунок 1).

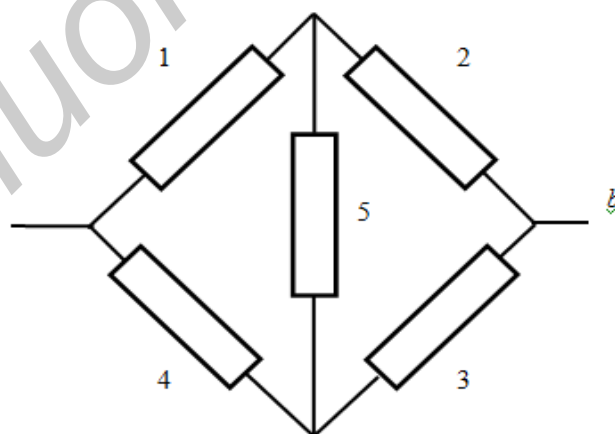


Рисунок 1 – Мостовая схема соединения устройств ЭСБ с точки зрения надёжности

На практике к подобным схемам можно отнести ЭСБ, содержащие в своём составе информационно-компьютерные подсистемы.

Будем считать, что рассматриваемая ЭСБ содержит в своём составе  $n$  устройств. ЭСБ может находиться в двух состояниях: работоспособности и отказа. Состояние ЭСБ обозначим символом  $R$ . Будем считать, что  $R$  принимает значение 1, если ЭСБ работоспособна, и значение 0, если она отказала. Состояние  $j$ -го устройства ЭСБ обозначим символом  $x_j$ . Будем считать, что  $x_j$  принимает значение 1, если  $j$ -е устройство работает безотказно, и значение 0, если оно отказало ( $j = 1, 2, \dots, n$ ).

Состояние ЭСБ зависит от состояния её устройств, т. е.

$$R = R(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Наиболее простым методом расчёта вероятности безотказной работы указанных технических систем является метод прямого перебора работоспособных состояний системы. Этот метод с успехом может быть применён и для расчёта надёжности систем, сводящихся с точки зрения надёжности к параллельно-последовательным или последовательно-параллельным схемам соединения устройств. Однако применение метода оправдано при небольшом числе устройств в составе системы ( $n \leq 6 \dots 7$ ).

Суть метода прямого перебора. С учётом критерия отказа ЭСБ всё множество её технических состояний  $G$  разбивается на два подмножества: работоспособных состояний  $G_1$  и неработоспособных состояний  $G_0$ . Для каждого состояния ЭСБ  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , используя [4], можно вычислить его вероятность  $p_X$  и далее найти вероятность безотказной работы ЭСБ  $P_{ЭСБ}$ :

$$P_{ЭСБ} = P\{X \in G_1\} = \sum_{X \in G_1} p_X, \quad (2)$$

где  $P\{\dots\}$  означает вероятность события, указанного в фигурных скобках.

Описанный метод реализован в виртуальной лабораторной работе. Учебная программа для ЭВМ имеет два режима: демонстрационный и проектный.

Демонстрационный режим предназначен для ознакомления с процедурой применения метода прямого перебора при определении вероятности безотказной работы ЭСБ. Проектный режим – режим выбора исследуемой ЭСБ и определения её надёжности – используется для выполнения заданий, предлагаемых в экспериментальной части лабораторной работы.

Программа для ЭВМ позволяет смоделировать для исследования надёжности несколько вариантов структурных схем ЭСБ. Пользуясь разработанной структурной схемой расчёта надёжности (СРН) или (при наличии опыта) структурной схемой ЭСБ, а также критерием отказа или работоспособности ЭСБ, студент указывает состояния выбранного рабочего подмножества ( $G_1$  или  $G_0$ ) в таблице, которую учебная программа для ЭВМ размещает на главном окне.

После выполнения процедуры перебора состояний ЭСБ программа выполняет проверку правильности действий студента. В случае правильности выполненных действий студенту предоставляется возможность определить итоговый показатель надёжности ЭСБ. Для правильного выполнения процедуры перебора студенту отводится ограниченное число попыток. Если все попытки израсходованы, но цель не достигнута, то программа завершает работу, о чём информируется преподаватель.

### 3. Оценка эффективности функционирования электронной системы

Составные части ЭСБ, находясь в рабочем (нормальном) состоянии, не являются идеальными с точки зрения формирования и/или восприятия и правильной обработки сигналов о проникновении на объект нарушителя. Так, датчики ЭСБ в ряде случаев могут не сформировать сигнал о проникновении нарушителя, микропроцессорное приёмно-контрольное устройство (МППКУ) неправильно обработать поступающие от датчиков сигналы, исполнительные устройства не отреагировать на поступающие от МППКУ команды и т. д. Объясняется это действием на ЭСБ, её устройства и составные части климатических факторов, естественных и промышленных электрических и электромагнитных помех и т. п. Указанные факторы приводят к возникновению временных отказов (сбоев), которые являются самоустраняющимися, или же устраняются незначительным вмешательством оператора, например перезагрузкой программного обеспечения. Более полным и объективным критерием оценки качества работы ЭСБ является показатель эффективности её функционирования. С помощью этого показателя можно учесть влияние временных отказов. Для показателя эффективности функционирования (обозначим показатель через  $E$ ) пригодно выражение [2, 3, 5]

$$E(t) = \sum_{i=1}^N h_i(t) \Phi_i, \quad (3)$$

где  $h_i(t)$  – вероятность того, что ЭСБ в момент времени  $t$  находится в  $i$ -м состоянии;  $\Phi_i$  – коэффициент эффективности  $i$ -го состояния ЭСБ;  $N$  – число возможных состояний ЭСБ.

С помощью коэффициентов  $\Phi_i$  возможен учёт влияния временных отказов составных частей ЭСБ на качество её работы.

Оценка эффективности функционирования сложных ЭСБ путём рассмотрения системы в целом на практике вызывает много затруднений из-за чрезмерно большого числа возможных технических состояний системы  $S$ , определяемого как

$$S = 2^n,$$

где  $n$  – суммарное количество технических устройств, входящих в ЭСБ.

Например, при наличии лишь по одному датчику на каждой входной двери и на каждом окне комнат здания, рассматриваемого в лабораторной работе (24 комнаты), число возможных технических состояний ЭСБ составит

$$2^{24+24} > 2,8 \cdot 10^{14}.$$

Причём это число не учитывает другие устройства ЭСБ.

Поэтому в инженерной практике приходится прибегать к различным методам упрощения анализа эффективности функционирования ЭСБ. Одним из таких методов является декомпозиция. Суть её состоит в разделении исследуемой ЭСБ на меньшие по размеру подсистемы, анализ каждой из которых значительно проще анализа исходной системы. Получив показатели эффективности функционирования подсистем, можно относительно несложно найти показатель эффективности функционирования ЭСБ в целом.

Указанный метод использован в виртуальной лабораторной работе [5]. Разработанная программа для ЭВМ генерирует план охраняемого здания, размещение датчиков, видеокамер и других устройств ЭСБ в помещениях здания. В качестве показателя эффективности функционирования ЭСБ рассматривается вероятность защиты помещений здания от проникновения нарушителя. Для оценки этого показателя выделяются подсистемы, оценку эффективности функционирования которых выполняет студент в диалоговом режиме работы с ЭВМ.

С другими виртуальными лабораторными работами по оценке надёжности и эффективности функционирования ЭСБ можно ознакомиться в учебном издании [6].

### **Заключение**

Сформулированы принципы создания виртуальных лабораторных работ по исследованию надёжности и эффективности функционирования электронных систем. Систематизированы некоторые подходы к определению надёжности и эффективности функционирования электронных систем на примере систем обеспечения безопасности объектов и физических лиц. Дано пояснение некоторых виртуальных лабораторных работ, позволяющих студенту в диалоговом режиме работы с ЭВМ определить показатель надёжности и/или показатель эффективности функционирования сложной электронной системы безопасности.

### **Литература**

1. Половко, А.М. Основы теории надёжности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

2. Надёжность технических систем : справочник / Ю.К. Беляев [и др.]; под ред. И. А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.

3. Шишмарёв, В.Ю. Надёжность технических систем : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.Ю. Шишмарёв. – М. : Изд. Центр «Академия», 2010. – 304 с.

4. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей : учебник / Е.С. Вентцель. – 9-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2003. – 576 с.

5. Теоретические основы проектирования электронных систем безопасности. Лабораторный практикум : пособие / С.М. Боровиков [и др.]; под ред. С.М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2014. – 70 с.

6. Надёжность технических систем. Лабораторный практикум : пособие / С.М. Боровиков [и др.]; под ред. С.М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2015. – 72 с.

**С.К. Дик, И.Н. Цырельчук, С.М. Боровиков, Е.Н. Шнейдеров**

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕГРАДАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

### **Введение**

При работе изделия электронной техники (ИЭТ) его электрический функциональный параметр (обозначим через  $y$ ) изменяется, говорят деградирует, и может рассматриваться как функция времени  $t$ . Деградация функционального параметра обуславливает появление постепенного отказа ИЭТ. Постепенные отказы определяют такое понятие как параметрическая надёжность ИЭТ, количественной мерой которой является вероятность нахождения параметра  $y(t)$  в пределах норм (от  $\alpha$  до  $\beta$ ) в течение заданной наработки  $t_3$ , т. е.

$$P_{\text{п}}(t_3) = \text{Вер} \{ \alpha \leq y(t) \leq \beta, t \leq t_3 \} = P \{ \alpha \leq y(t) \leq \beta, t \leq t_3 \}, \quad (1)$$

где запись «Вер» означает вероятность, далее её будем заменять символом  $P$ . Прогнозирование параметрической надёжности ИЭТ может быть выполнено по модели деградации функционального параметра (модели постепенного отказа) и обычно применяется для отбора высоконадёжных изделий, поставляемых потребителям [1, 2].