

Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin
(editors)

**Information Models
of
Knowledge**

**ITHEA[®]
KIEV – SOFIA
2010**

Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin (ed.)

Information Models of Knowledge

ITHEA®

Kiev, Ukraine – Sofia, Bulgaria, 2010

ISBN 978-954-16-0048-1

First edition

Recommended for publication by The Scientific Council of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA
ITHEA IBS ISC: 19.

This book maintains articles on actual problems of research and application of information technologies, especially the new approaches, models, algorithms and methods for information modeling of knowledge in: Intelligence metasynthesis and knowledge processing in intelligent systems; Formalisms and methods of knowledge representation; Connectionism and neural nets; System analysis and synthesis; Modelling of the complex artificial systems; Image Processing and Computer Vision; Computer virtual reality; Virtual laboratories for computer-aided design; Decision support systems; Information models of knowledge of and for education; Open social info-educational platforms; Web-based educational information systems; Semantic Web Technologies; Mathematical foundations for information modeling of knowledge; Discrete mathematics; Mathematical methods for research of complex systems.

It is represented that book articles will be interesting for experts in the field of information technologies as well as for practical users.

General Sponsor: Consortium FOI Bulgaria (www.foibg.com).

Printed in Ukraine

Copyright © 2010 All rights reserved

© 2010 ITHEA® – Publisher; Sofia, 1000, P.O.B. 775, Bulgaria. www.ithea.org ; e-mail: info@foibg.com

© 2010 Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin – Editors

© 2010 Ina Markova – Technical editor

© 2010 For all authors in the book.

® ITHEA is a registered trade mark of FOI-COMMERCE Co., Bulgaria

ISBN 978-954-16-0048-1

C/o Jusautor, Sofia, 2010

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ПРИБОРОВ И РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Александр Палагин, Владимир Романов, Игорь Галелюка,
Крассимир Марков, Виталий Величко, Александра Ковырёва,
Петер Станчев, Крассимира Иванова, Илия Митов

Аннотация: В статье рассмотрено практическое применение программных модулей виртуальной лаборатории автоматизированного проектирования для расчета параметров надежности резервированных систем и портативного прибора "Флоратест", малая серия которого выпущена в Институте кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины. Приведенные примеры расчетов показывают возможность использования виртуальной лаборатории для расчета резервированных систем разной сложности и приборов разнообразного назначения.

Ключевые слова: виртуальная лаборатория; автоматизированное проектирование; расчет надежности; резервирование надежности; распределенная система.

ACM Classification Keywords: J.6 Computer-Aided Engineering – Computer-Aided Design (CAD); K.4.3 Organizational Impacts – Computer-Supported Collaborative Work.

Введение

Для портативных приборов широкого применения важным является, кроме параметров назначения, высокая надежность. Это, прежде всего, связано с условиями эксплуатации этих приборов. Чаще всего портативные приборы используются в полевых условиях с высокими перепадами температур, давления, влажности и т.п. На них влияют тряска и вибрации при транспортировке, ударная нагрузка при эксплуатации и т.п. Кроме того, в удаленных районах эксплуатации, как правило, отсутствуют сервисные центры обслуживания портативных приборов конкретного назначения. Поэтому показатели надежности (вместе с показателями назначения) являются наиболее важными эксплуатационными показателями портативного прибора или средства. Это обусловило создание в составе виртуальной лаборатории автоматизированного проектирования [Palagin, 2009], которая разработана совместно Институтом кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины и Институтом математики и информатики БАН, модулей расчета показателей надежности. С целью повышения надежности на практике часто используют резервирование, которое заключается в параллельном подключении двух (дублированная система) или трех (утроенная система) элементов. Виртуальная лаборатория не имеет ограничений относительно анализа надежности в зависимости от количества уровней резервирования.

Расчет надежности резервированных систем

В нашем случае мы будем рассматривать невозстанавливаемые системы. Отказом системы будем считать выход из строя (отказ) всех элементов. Имеется в виду, что резервирование в таких системах является "горячим". Использование "горячего" резервирования заведомо допускает появления ряда недостатков, которые проявляются в увеличении общей стоимости всей системы, повышении энергопотребления и резком снижении вероятности безотказной работы через некоторое время. Чем сложнее система, тем это время меньше. То есть, "горячее" резервирование гарантирует высокую вероятность безотказной работы системы в коротком промежутке времени.

В виртуальной лаборатории нами реализован расчет вероятности безотказной работы резервированных систем. Для этого были проанализированы методики классической теории надежности [Гнеденко, 1965, Стрельников, 2004], которые потом были модифицированы и реализованы в виде программного модуля.

Для получения аналитического выражения определения вероятности безотказной работы резервированных систем мы использовали аппарат классической теории вероятности, а именно теоремы

сложения и умножения вероятностей. В нашем случае необходимо определить вероятность события Π , которое состоит в том, что система, которая представляет собой параллельное соединение двух элементов проработает безотказно в интервале времени $(0, t)$. Согласно [Азарсков, 2004] система проработает безотказно в интервале времени $(0, t)$, если произойдет одно из несовместимых событий:

Π_1 – за время t не откажет не один из элементов;

Π_2 – за время t откажет элемент "2", а элемент "1" проработает без отказа;

Π_3 – за время t откажет элемент "1", а элемент "2" проработает без отказа.

На основе теоремы сложения вероятностей вероятность безотказной работы системы за время t будет равна

$$P(t) = P(\Pi_1) + P(\Pi_2) + P(\Pi_3) \quad (1)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы резервированной системы; $P(\Pi_1)$, $P(\Pi_2)$, $P(\Pi_3)$ – вероятности появления событий Π_1 , Π_2 , Π_3 соответственно.

Согласно теореме умножения вероятностей нами определена вероятность каждого из трех событий:

$$\begin{aligned} P(\Pi_1) &= P_1(t) \cdot P_2(t) \\ P(\Pi_2) &= P_1(t) \cdot (1 - P_2(t)) \\ P(\Pi_3) &= (1 - P_1(t)) \cdot P_2(t) \end{aligned} \quad (2)$$

где $P_1(t)$, $P_2(t)$ – вероятность безотказной работы элементов "1" и "2" соответственно.

Подставив (2) в (1), получим выражение для определения вероятности безотказной работы дублированной системы

$$P(t) = P_1(t) + P_2(t) - P_1(t) \cdot P_2(t) \quad (3)$$

Поскольку мы полагаем, что элементы 1 и 2 имеют одинаковую надежность, то выражение (3) примет следующий вид

$$P(t) = 2P_e(t) - P_e(t)^2 \quad (4)$$

где P_e – вероятность безотказной работы одного из параллельных элементов.

Получение аналитического выражения для вычисления вероятности безотказной работы утроенной системы происходит аналогично описанной выше последовательности на основе теорем сложения и умножения вероятностей. Конечное выражение для определения вероятности безотказной работы утроенной системы будет иметь следующий вид:

$$P(t) = P_e(t)[3 - 3P_e(t) + P_e(t)^2] \quad (5)$$

Приведенные выше расчеты вероятностей безотказной работы резервированных систем адаптированы и реализованы нами в виртуальной лаборатории в виде программных модулей расчета параметров надежности.

Кроме непосредственных расчетов вероятностей безотказной работы резервированных систем адаптированные методики позволяют решать также другую задачу. Данная задача состоит в определении степени резервирования системы, что даст возможность достичь заданных пользователем показателей безотказности работы.

Нами совершен расчет вероятности безотказной работы для обычной и резервированной систем согласно адаптированным методикам для проверки их соответствия классической теории надежности. Под резервированными системами понимаем дублированную и утроенную системы, которые рассмотрены выше. Принято, что система состоит из одинаковых микроэлектронных элементов, которые изготовлены,

например, по технологии "Bipolar < 2.5 μm^2 ". Расчеты осуществлены для 4 систем, которые состоят из 1 тыс., 10 тыс., 20 тыс. и 100 тыс. элементов соответственно. Доверительные границы равны 60 %.

Результаты расчетов вероятности безотказной работы для четырех типов систем с использованием экспоненциальной модели распределения вероятностей отказов приведены в табл. 1, а с использованием модели DN-распределения вероятностей отказов – в табл. 2.

Таблица 1. Вероятности безотказной работы систем, полученные с использованием экспоненциальной модели распределения вероятностей отказов

Количество элементов в системе, тыс.	Вероятность безотказной работы системы		
	обычная	дублированная	утроенная
1	0,924	0,994	0,999
10	0,672	0,893	0,964
20	0,204	0,367	0,496
100	0,00035	0,00071	0,00107

Таблица 2. Вероятности безотказной работы систем, полученные с использованием модели DN-распределения вероятностей отказов

Количество элементов в системе, тыс.	Вероятность безотказной работы системы		
	обычная	дублированная	утроенная
1	0,554	0,801	0,911
10	0,123	0,231	0,325
20	0,060	0,116	0,169
100	0,005	0,00997	0,01492

По результатам расчетов можно сделать вывод про соответствие полученных результатов данным, которые рассчитаны в ручном режиме с использованием зависимостей теории надежности [Азарков, 2004].

Для анализа вероятности безотказности работы резервированных систем с помощью программного модуля расчета параметров надежности нами были построены зависимости вероятности безотказной работы обычной, дублированной и утроенной систем, которые состоят из 1 тыс. и 100 тыс. элементов, от времени эксплуатации. Доверительные границы были равны 60 %. На рис. 1 и рис. 2 приведены зависимости, полученные с помощью методики на основе экспоненциального закона распределения вероятности отказов. На рис. 3 и рис. 4 приведены зависимости, полученные с помощью методики на основе DN-распределения вероятности отказов.

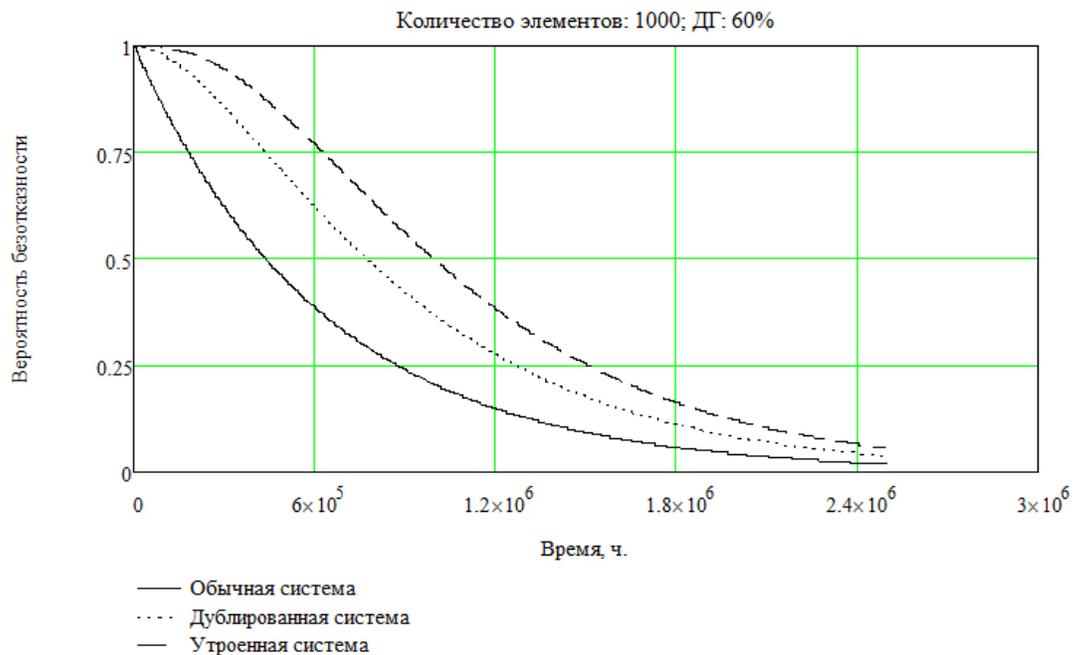


Рисунок 1. Зависимость вероятностей безотказной работы обычной и резервированной систем (1 тыс. элем.) от времени эксплуатации, экспоненциальный закон

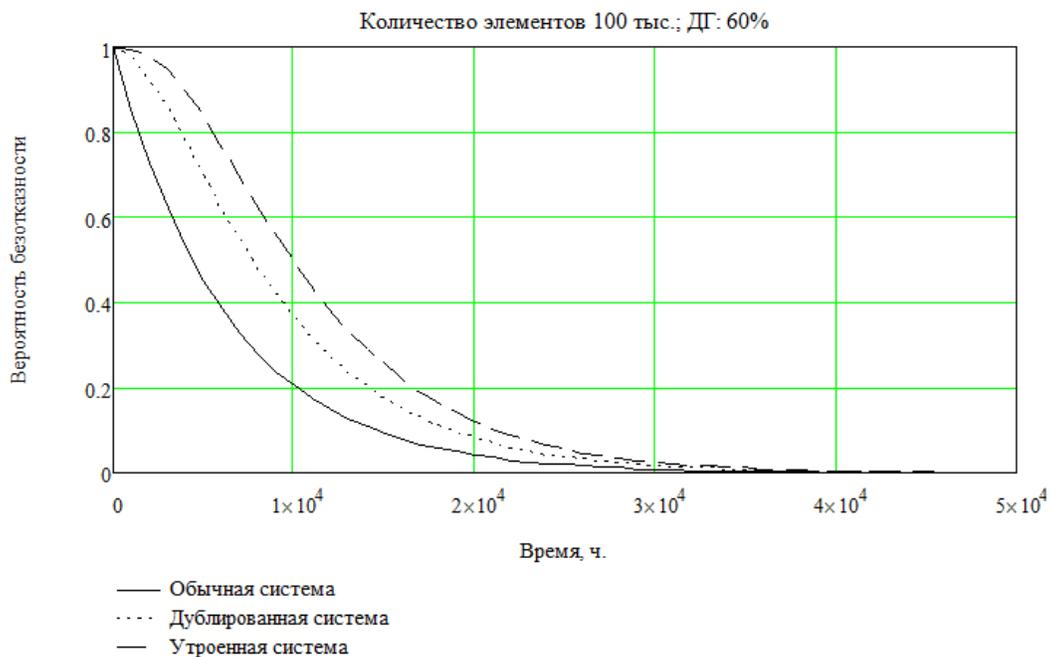


Рисунок 2. Зависимость вероятностей безотказности работы обычной и резервированных систем (100 тыс. элем.) от времени эксплуатации, экспоненциальный закон

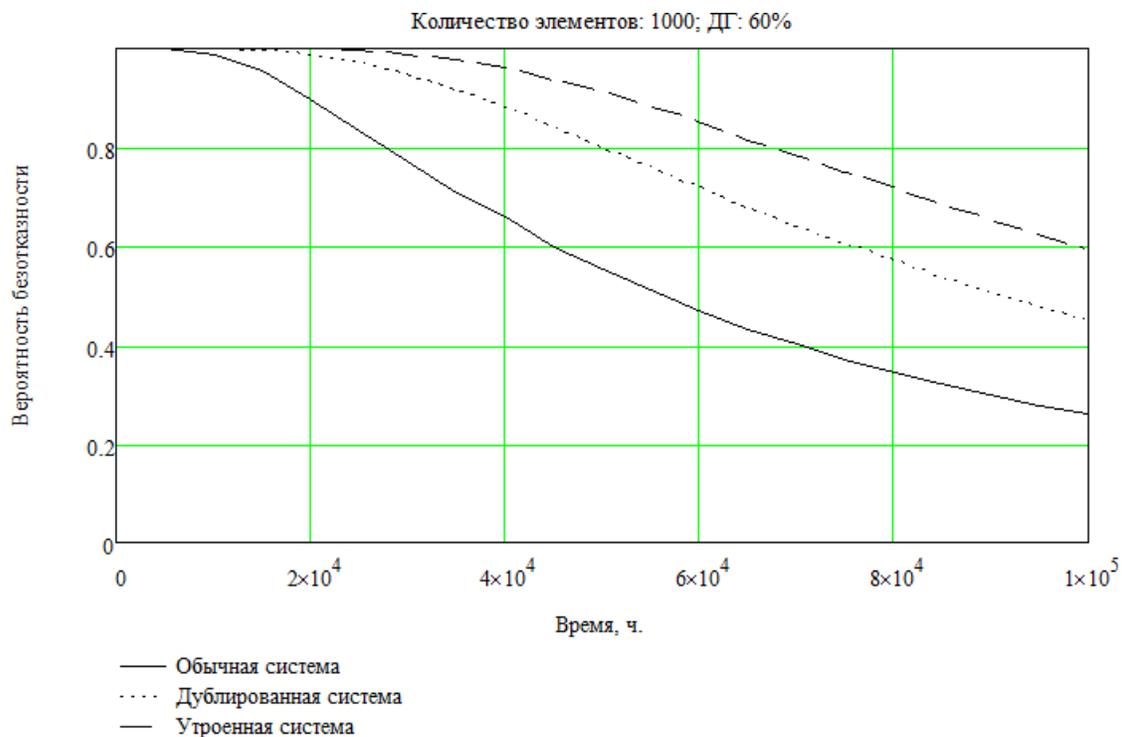


Рисунок 3. Зависимость вероятностей безотказности работы обычной и резервированных систем (1 тыс. элем.) от времени эксплуатации, DN-распределение

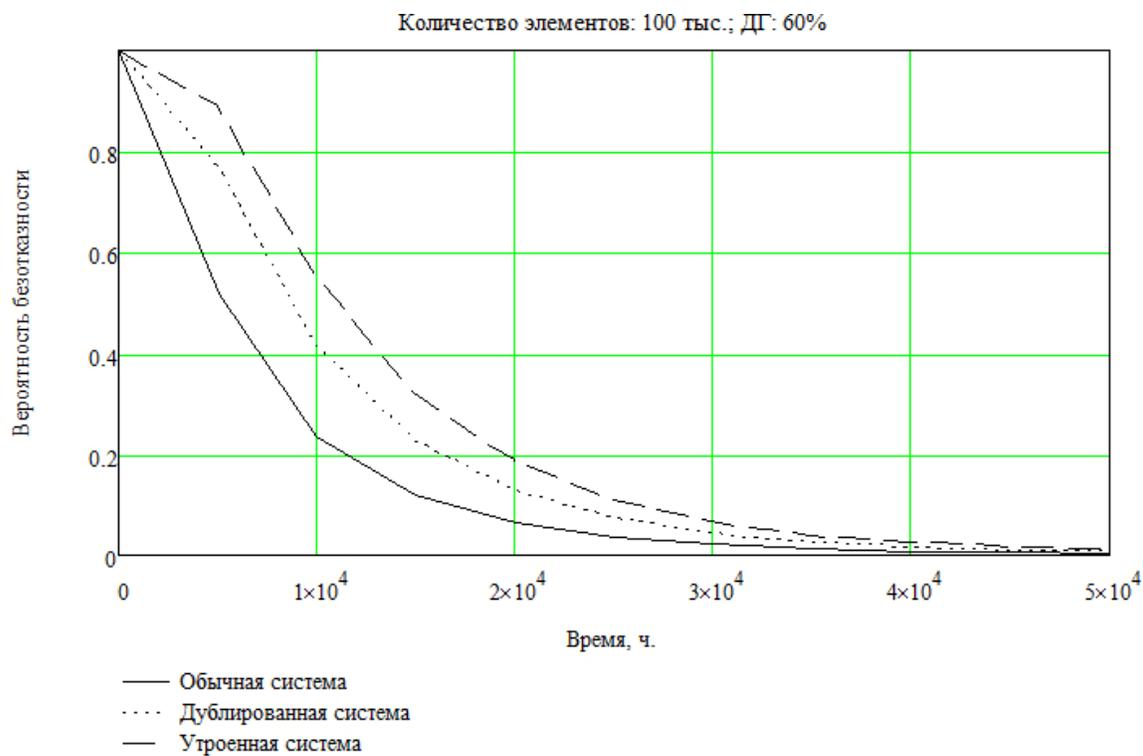


Рисунок 4. Зависимость вероятностей безотказности работы обычной и резервированных систем (100 тыс. элем.) от времени эксплуатации, DN-распределение

Проанализировав графики (рис. 1 и рис. 2), мы четко определили, что при расчете с помощью методики на основе экспоненциального закона распределения вероятность безотказной работы систем, которые состоят из 1 тыс. и 100 тыс. элементов, после начала эксплуатации начинает резко уменьшаться. Это согласуется с классической теорией надежности [Азарсков, 2004, Стрельников, 2002]. Резервирование систем помогает поддержать вероятность безотказной работы на уровне 0,999 в начале эксплуатации на протяжении определенного периода времени. Для системы из 1 тыс. элементов этот период для дублированной системы равен 10 тыс. часов (или 417 дней), а для утроенной системы – 20 тыс. часов (или 833 дня). Для системы из 100 тыс. элементов эти периоды составляют приблизительно 1000 часов (или 42 дня) и 2000 часов (или 83 дня) соответственно для удвоенной и утроенной систем.

Проанализировав графики (рис. 3 и рис. 4), мы четко видим, что при DN-распределении вероятность безотказной работы систем, которые состоят как в предыдущем случае из 1 тыс. та 100 тыс. элементов, после начала эксплуатации ведет себя различным образом. Для системы из 1 тыс. элементов даже обычная система после начала эксплуатации имеет небольшую область (приблизительно 7000 часов), на которой вероятность безотказной работы составляет 0,999. При резервировании такой системы периоды времени, на протяжении которых вероятность безотказной работы равна 0,999, значительно возрастают. Для дублированной системы он равен 20 тыс. часов (или 833 дня), а для утроенной системы – 27 тыс. часов (или 1125 дней). Вероятность безотказной работы системы из 100 тыс. элементов ведет себя для трёх систем почти одинаково, а именно, начинает резко уменьшаться уже от начала первого включения. Разница состоит лишь в крутизне кривой. То есть, период времени, в котором вероятность безотказной работы равна 0,999, является чрезвычайно малым. Для улучшения надежность в таком случае лучше увеличивать уровни резервирования системы.

Расчет надежности проектируемого прибора

Виртуальная лаборатория была использована нами для расчета параметров надежности портативного прибора для экспресс-диагностики состояния растений "Флоратест" [Romanov, 2007], который был разработан в Институте кибернетики имени В.М.Глушкова НАН Украины. Исходными данными для расчетов послужили принципиальная электрическая схема базового блока прибора "Флоратест" и параметры надежности микроселектронных элементов, которые взяты из официальных сайтов компаний-производителей этих элементов. Расчет параметров надежно выполнен с помощью двух рассмотренных методик: [Palagin, 2010]:

- 1) на основе экспоненциального закона распределения вероятностей отказов;
- 2) на основе DN-распределения вероятностей отказов.

Расчеты проведены нами для доверительных границ 60% и 90%.

Портативный прибор "Флоратест" состоит из двух основных блоков: базового блока и выносного сенсора. Согласно принципиальной электрической схеме прибора нами был создан перечень всех элементов базового блока прибора. Дальше все элементы базового блока были разделены нами на 2 группы:

- 1) параметры надежности элементов задаются в единицах FIT (отказ на 10^9 часов наработки);
- 2) надежность элементов определяется количеством циклов срабатываний (кнопки, переключатели и т.п.).

Параметры надежности отдельного элемента первой группы рассчитываются на основе сведенных данных по надежности технологии изготовления этого элемента. Параметры надежности элементов второй группы рассчитываются путем сравнения необходимого количества цикла срабатываний на протяжении гарантированного срока работы портативного прибора с гарантированным производителем элемента количеством циклов срабатываний.

Приведем алгоритм расчета параметров надежности базового блока портативного прибора "Флоратест" с помощью модуля расчетов параметров надежности, который входит в состав виртуальной лаборатории:

- 1) Задать количество типов микроэлектронных компонентов и общее количество микроэлектронных компонентов в приборе.
- 2) Выбрать из списка название каждого типа микроэлектронного компонента и ввести количество компонентов каждого типа.
- 3) Проверить правильность введенной информации.
- 4) Нажать кнопку "Рассчитать" для расчета параметров надежности базового блока прибора "Флоратест".
- 5) На экран монитора будут выведены рассчитанные двумя методиками параметры надежности каждого типа микроэлектронных компонентов и параметры надежности базового блока прибора.

Следует заметить, что по приведенному выше алгоритму совершается расчет параметров надежности базового блока прибора "Флоратест" на основе параметров надежности элементов первой группы.

Согласно введенным данным нами получены следующие результаты расчета параметров надежности базового блока портативного прибора "Флоратест" (см. табл. 3).

Таблица 3. Результаты расчета параметров надежности базового блока прибора "Флоратест"

Закон распределения вероятностей отказов	Доверительная граница			
	60 %		90 %	
	часов	лет	часов	лет
Экспоненциальный	1353102	154,5	1119396	127,8
DN	136711	15,6	133097	15,2

Как было сказано выше, параметры надежности элементов второй группы рассчитываются путем сравнения необходимого количества циклов срабатываний на протяжении гарантированного срока работы портативного прибора с гарантированным производителем элемента количеством циклов срабатываний.

Для кнопки, которая входит в состав элементов второй группы, производителем (компания "Schurter") предоставляется гарантия в среднем от 800 тыс. до 1,5 млн. циклов нажиманий в зависимости от тока. Для совершения одного измерения необходимо нажать на каждую из кнопок дважды. Для переноса данных каждые 20 измерений из прибора в ПК необходимо также дважды нажать на каждую из кнопок. Исходя из того, что с помощью прибора "Флоратест" планируется делать в среднем до 100 измерений в день, несложно рассчитать ежедневное количество нажатий одной кнопки. Следовательно, за один день пользователь нажмет каждую из кнопок 210 раз. Соответственно в год каждая кнопка будет нажата 76,5 тыс. раз и её гарантийный срок службы будет равен от 10 до 20 лет.

На основе проведенных расчетов можно утверждать, что гарантированный срок работы базового блока портативного прибора "Флоратест" равен приблизительно 10 годам, что приемлемо для портативного прибора.

Расчет параметров надежности выносного оптического сенсора портативного прибора "Флоратест" осуществляется согласно методике, которая использована для базового блока. Отличие использования методики состоит в том, что в перечень элементов выносного сенсора входят только элементы, параметры которых задаются в единицах FIT.

Выносной оптический сенсор состоит из 4 светодиодов, фотоприемника и операционного усилителя (см. табл. 4).

Таблица 4. Перечень элементов выносного оптического сенсора прибора "Флоратест"

Название	Описание	Количество
<i>Элементы, параметры надежности которых задаются в единицах FIT</i>		
NSPB500	Светодиод	4
OPT301	Фотоприемник	1
AD820AR	Операционный усилитель	1

Согласно с приведенными данными нами получены следующие результаты расчета параметров надежности выносного сенсора портативного прибора "Флоратест" (см. табл. 5).

Таблица 5. Результаты расчета параметров надежности выносного оптического сенсора прибора "Флоратест"

Закон распределения вероятностей отказов	Доверительная граница			
	60 %		90 %	
	часов	лет	часов	лет
Экспоненциальный	20031934	2286,7	16691668	1905,4
DN	530145	60,5	516645	59,0

Из полученных данных видно, что надежность выносного сенсора в несколько раз выше надежности базового блока. Соответственно за надежность целого прибора можно принять надежность базового блока.

Следовательно, гарантированный срок работы портативного прибора "Флоратест" в составе базового блока и выносного оптического сенсора составляет приблизительно 10 лет.

Выводы

1. Разработаны и проверены при практических расчетах программные модели расчета параметров надежности типичных резервированных систем, а именно: дублированной и утроенной. С помощью разработанных моделей выполнен расчет параметров надежности четырех типов обычных и резервированных систем (1 тыс., 10 тыс., 20 тыс. и 100 тыс. элементов).

2. С помощью разработанных программных моделей рассчитаны параметры надежности портативного прибора "Флоратест", опытная партия которых создана в Институте кибернетики имени В.М.Глушкова НАН Украины. Доказано, что гарантированный срок работы портативного прибора "Флоратест" в составе базового блока и выносного оптического сенсора равен приблизительно 10 лет, что вполне приемлемо для портативного прибора.

Благодарности

Эта работа частично профинансирована Болгарским национальным научным фондом в рамках совместного болгарско-украинского проекта **D 002-331 / 19.12.2008** "Разработка распределенных виртуальных лабораторий на основе прогрессивных методов доступа для поддержки проектирования сенсорных систем", а также Министерством образования Украины в рамках украинско-болгарского проекта №: **145 / 23.02.2009** с тем же названием.

Литература

- [Palagin, 2009] Palagin O., Romanov V., Markov K., Velychko V., Stanchev P., Galeyuka I., Ivanova K., Mitov I. Developing of distributed virtual laboratories for smart sensor system design based on multi-dimensional access method // Classification, forecasting, data mining: International book series "Information Science and Computing". Number 8: Supplement to International Journal "Information Technologies and Knowledge". Volume 3/2009. – 2009. – P. 155–161.
- [Гнеденко, 1965] Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. – М. : Наука, 1965. – 528 с.
- [Стрельников, 2004] Стрельников В.П. Оценка ресурса изделий электронной техники // Математические машины и системы. – 2004. – № 2. – С. 186–195.
- [Азарсков, 2004] Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики : учеб. пособие. – К. : НАУ, 2004. – 164 с.
- [Стрельников, 2002] Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем – К. : Логос, 2002. – 486 с.
- [Romanov, 2007] Romanov V., Fedak V., Galeyuka I., Sarakhan Ye., Skrypnyk O. Portable Fluorometer for Express-Diagnostics of Photosynthesis: Principles of Operation and Results of Experimental Researches // Proceeding of the 4th IEEE Workshop on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2007. – Dortmund, Germany. – 2007, September 6–8. – P. 570–573.
- [Palagin, 2010] Palagin O., Stanchev P., Romanov V., Markov K., Galeyuka I., Velychko V., Kovyriova O., Galeyuka O., Mitov I., Ivanova K. Calculating of reliability parameters of microelectronic components and devices by means of virtual laboratory // in book "New trends in information technologies". – Sofia: ITHEA. – 2010. – P. 134–143.

Информация об авторах



Александр Палагин – заместитель директора, Институт кибернетики имени В.М. Глушкова Национальной академии наук Украины, Академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор; проспект Академика Глушкова, 40, Киев-187, 03680, Украина; e-mail: palagin_a@ukr.net



Петер Станчев – профессор, Kettering University, Flint, Michigan (MI), 48504, USA; Институт математики и информатики Болгарской академии наук; ул. Академика Г.Бончева, 8, София-1113, Болгария; e-mail: pstanche@kettering.edu



Владимир Романов – заведующий отделом, Институт кибернетики имени В.М. Глушкова Национальной академии наук Украины, доктор технических наук; проспект Академика Глушкова, 40, Киев-187, 03680, Украина; e-mail: dept230@insyg.kiev.ua, VRomanov@i.ua



Игорь Галелюка – старший научный сотрудник, Институт кибернетики имени В.М. Глушкова Национальной академии наук Украины, кандидат технических наук; проспект Академика Глушкова, 40, Киев-187, 03680, Украина; e-mail: galib@gala.net



Крассимир Марков – старший научный сотрудник, Институт математики и информатики Болгарской академии наук; ул. Академика Г.Бончева, 8, София-1113, Болгария; e-mail: markov@foibg.com



Виталий Величко – докторант, Институт кибернетики имени В.М. Глушкова Национальной академии наук Украины, кандидат технических наук, доцент; проспект Академика Глушкова, 40, Киев-187, 03680, Украина; e-mail: glad@aduis.kiev.ua



Александра Ковырëва – научный сотрудник, Институт кибернетики имени В.М. Глушкова Национальной академии наук, проспект Академика Глушкова, 40, Киев-187, 03680, Украина; e-mail: alexandara.skripka@gmail.com



Крассимира Иванова – научный сотрудник, Институт математики и информатики Болгарской академии наук; ул. Академика Г.Бончева, 8, София-1113, Болгария; e-mail: ivanova@foibg.com



Илия Митов – докторант, Институт математики и информатики Болгарской академии наук; ул. Академика Г.Бончева, 8, София-1113, Болгария; e-mail: mitov@foibg.com