

КОМП'ЮТЕРНІ Й ІНФОРМАЦІЙНІ МЕРЕЖІ І СИСТЕМИ

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

COMPUTER AND INFORMATION NETWORKS AND SYSTEMS

MANUFACTURING AUTOMATION

УДК 004.519.217

Д.А. Маевский, канд. техн. наук, доц., Одес. нац.
политехн. ун-т,

С.А. Яремчук, магистр, Измаил. ин-т водного тр-та

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д.А. Маевський, С.О. Яремчук. Порівняльний аналіз моделей надійності програмного забезпечення на етапі експлуатації. Наведено результати моделювання інтенсивності відмов програмного забезпечення і порівняння цих результатів з реальними експериментальними даними. Для порівняння використовувалися дані з інтенсивності відмов під час експлуатації трьох облікових інформаційних систем.

Д.А. Маевский, С.А. Яремчук. Сравнительный анализ моделей надежности программного обеспечения на этапе эксплуатации. Приведены результаты моделирования интенсивности отказов программного обеспечения и сравнения этих результатов с реальными экспериментальными данными. Для сравнения использовались данные по интенсивности отказов во время эксплуатации трех учетных информационных систем.

D.A. Maevsky, S.A. Yaremchuk. Comparative analysis of software reliability models of the operation stage. The results of simulating both software failure intensity and the comparison of these results with the real experimental data are presented. The data on failures' intensity of three recording information systems were used for comparison.

Информационные системы (ИС) занимают все большее место во всех областях человеческой деятельности: им поручаются функции, от бесперебойного и правильного выполнения которых во время эксплуатации системы зависит безопасность и жизнь людей, а также состояние окружающей среды. Поэтому при проектировании, создании и эксплуатации ИС на первое место, наряду с ее функциональностью, выходит такое свойство, как гарантоспособность.

Гарантоспособность — это комплексное свойство ИС, включающее в себя понятия надежности, функциональной и информационной безопасности [1]. На этапе эксплуатации ИС основное значение приобретает первая составляющая гарантоспособности — надежность, которая в значительной степени определяется их программным обеспечением (ПО). Факторами, отрицательно влияющими на надежность ПО, прежде всего являются имеющиеся в нем ошибки [2]. Математические модели надежности программного обеспечения (МНПО) позволяют моделировать и прогнозировать основные показатели гарантоспособности, а, следовательно, и ресурсы, необходимые для ее обеспечения [3, 4].

© Д.А. Маевский, С.А. Яремчук, 2011

Известно более тридцати МНПО [5], каждая из которых основывается на системе допущений и аналитических выражениях показателей надежности в зависимости от условий эксплуатации, процессов внесения и исправления программных ошибок.

Проблема выбора моделей надежности для использования на этапе эксплуатации и сопровождения ИС практически не исследована. Причинами этого являются, во-первых, обилие моделей, а, во-вторых, недостаточное изучение особенностей их использования. Поэтому выполнение таких исследований является важной и актуальной задачей.

Целью настоящей работы является проведение сравнительного анализа точности моделирования показателей надежности ИС некоторыми часто используемыми МНПО. Для достижения этой цели решены следующие задачи: получены экспериментальные данные по интенсивности отказов во время эксплуатации трех реальных ИС; проведено моделирование интенсивности отказов этих ИС с использованием трех наиболее часто используемых МНПО; выполнено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными; даны практические рекомендации о применимости исследованных МНПО для прогнозирования показателей надежности ИС на этапе эксплуатации.

В качестве исследуемых моделей выбраны следующие МНПС: Дюэна [6], логарифмическая модель Мусы-Окумото [7], S-образная модель с перегибами [8]. Выбранные МНПО отличаются между собой допущениями о неодинаковой вероятности обнаружения ошибок, зависимостью одних ошибок от других, наличием в системе конечного или бесконечного количества ошибок.

В качестве объекта исследования взяты учетные информационные системы (УИС), которые эксплуатируются на предприятиях г. Измаила Одесской области.

Данные о количестве программных ошибок, обнаруженных во время эксплуатации каждой из УИС, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные по интенсивности отказов УИС

| Месяц экспл. | УИС № 1 | | | УИС № 2 | | | УИС № 3 | | |
|-----------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| | Время работы, ч | Количество отказов | | Время работы, час | Количество отказов | | Время работы, ч | Количество отказов | |
| | | за месяц | нараст. итоном | | за месяц | нараст. итоном | | за месяц | нараст. итоном |
| 1 | 480 | 19 | 19 | 80 | 8 | 8 | 15 | 11 | 11 |
| 2 | 960 | 13 | 32 | 160 | 7 | 15 | 30 | 9 | 20 |
| 3 | 1 440 | 19 | 51 | 240 | 8 | 23 | 45 | 7 | 27 |
| 4 | 1 920 | 17 | 68 | 320 | 9 | 32 | 60 | 6 | 33 |
| 5 | 2 400 | 11 | 79 | 400 | 6 | 38 | 75 | 3 | 36 |
| 6 | 2 880 | 8 | 87 | 480 | 5 | 43 | 90 | 0 | 36 |
| 7 | 3 360 | 7 | 94 | 560 | 2 | 45 | 105 | 2 | 38 |
| 8 | 3 840 | 5 | 99 | 640 | 5 | 50 | 120 | 0 | 38 |
| 9 | 4 320 | 3 | 102 | 720 | 3 | 53 | 135 | 0 | 38 |
| 10 | 4 800 | 1 | 103 | 800 | 1 | 54 | 150 | 3 | 41 |
| 11 | 5 280 | 2 | 105 | 880 | 0 | 54 | 165 | 0 | 41 |
| 12 | 5 760 | 1 | 106 | 960 | 1 | 55 | 180 | 1 | 42 |
| 13 | | | | | | | 195 | 2 | 44 |
| 14 | | | | | | | 210 | 3 | 47 |
| 15 | | | | | | | 225 | 2 | 49 |
| 16 | | | | | | | 240 | 0 | 49 |
| 17 | | | | | | | 255 | 1 | 50 |
| 18 | | | | | | | 270 | 0 | 50 |

УИС № 1 работает в сетевом режиме на шести рабочих местах. Введена в эксплуатацию в 2002 г., продолжает эксплуатироваться в настоящее время. Размер исходного кода в операторах — 20 300, количество полей базы данных — 326, количество программных модулей — 90, количество обращений к системе за месяц — 2880.

УИС № 2 работает в локальном режиме на одном рабочем месте. Введена в эксплуатацию в 2003 г., продолжает эксплуатироваться в настоящее время. Размер исходного кода в операторах — 15 160, количество полей базы данных — 322, количество программных модулей — 74, количество обращений к системе за месяц — 320.

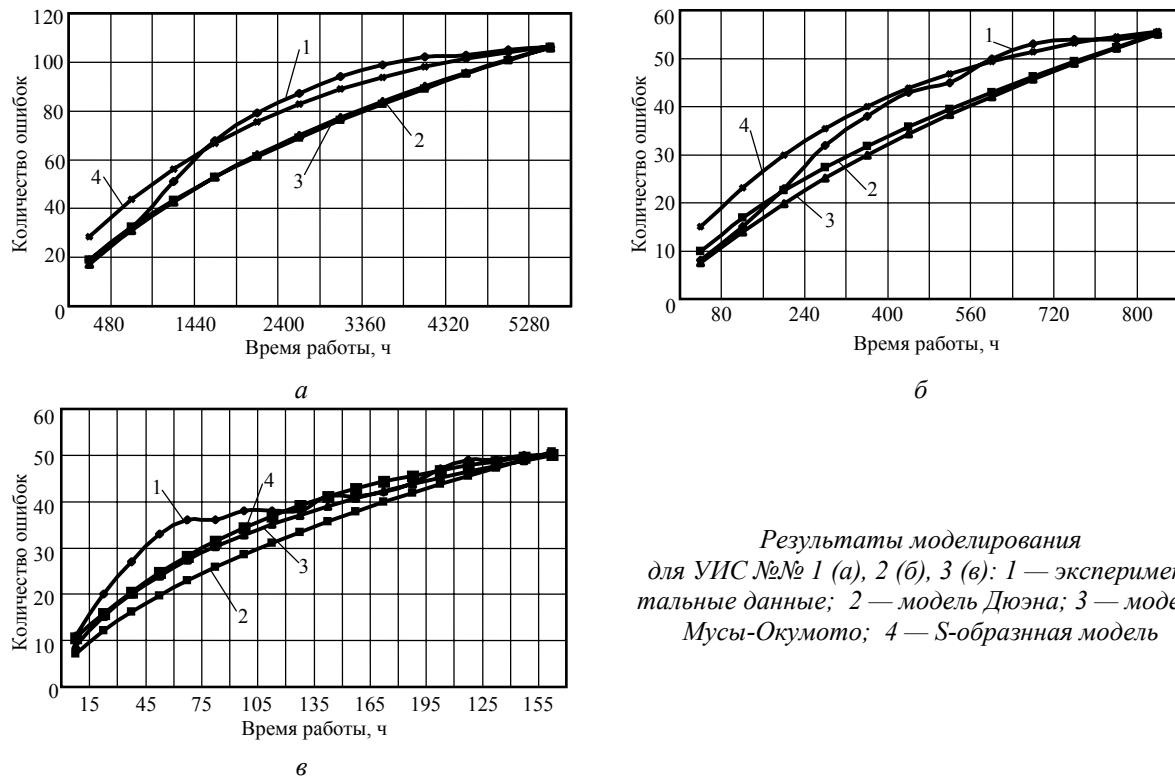
УИС № 3 работает в локальном режиме на одном рабочем месте. Введена в эксплуатацию в 2003 г., продолжает эксплуатироваться в настоящее время. Размер исходного кода в операторах — 4 700, количество полей базы данных — 78, количество программных модулей — 39, количество обращений к системе за месяц — 180.

Для количественной оценки степени соответствия моделей данным эксперимента использован критерий минимального суммарного квадратичного отклонения (МСКО)

$$K = \sum_{i=1}^k (m_i^* - m_i)^2, \quad (1)$$

где m_i^* и m_i — экспериментальное и расчетное количество ошибок, выявленных за i -й интервал времени.

Результаты моделирования зависимости количества выявленных ошибок от времени для УИС № 1...3 представлены на рисунке.



Результаты моделирования
для УИС №№ 1 (а), 2 (б), 3 (в): 1 — экспериментальные данные; 2 — модель Дюзна; 3 — модель Мусы-Окумото; 4 — S-образная модель

В табл. 2 представлены значения критерия МСКО, полученные для каждой из трех УИС по рассмотренным моделям.

Таблица 2

Значения критерия МСКО для рассмотренных моделей

| Проекты | Дюзна | Мусы-Окумото | S-образная |
|---------|--------|--------------|------------|
| УИС №1 | 200,86 | 168,31 | 191,94 |
| УИС №2 | 50,93 | 45,89 | 79,46 |
| УИС №3 | 80,23 | 49,62 | 56,86 |

Из анализа приведенных графиков (см. рисунок) и данных таблицы 2 можно сделать следующие заключения.

Графики зависимости количества выявленных ошибок от времени, рассчитанные по исследуемым моделям, имеют плавные траектории и не отражают изменения хода экспериментальных кривых. Эти изменения могут быть вызваны изменениями параметров программного обеспечения УИС в результате доработок или исправлений выявленных ошибок. Все известные модели считают эти параметры неизменными. Кроме того, ни одна из моделей не учитывает влияния так называемых “вторичных” ошибок, то есть ошибок, которые вносятся в систему уже на этапе эксплуатации.

Наихудшие результаты моделирования по критерию МСКО получены для УИС № 1, не смотря на то, что ход экспериментальной кривой этой модели плавный, без скачкообразных изменений. Можно предположить, что за счет большого времени эксплуатации этой УИС в нее было внесено значительное количество вторичных ошибок, что и привело к полученным расхождениям.

Наилучшие результаты моделирования по всем исследованным УИС получены с помощью логарифмической модели Мусы-Окумото, специально разработанной для моделирования отказов в программном обеспечении. Наихудшие результаты моделирования продемонстрировала модель Дюэна, одна из наиболее ранних классических моделей аппаратной надежности (1964 г.), адаптированная в последующем для моделирования программной надежности.

Выводы.

1. Неудовлетворительные результаты, полученные с использованием модели Дюэна, показывают, что МНПО, разработанные для исследования отказов аппаратуры не могут быть применены для исследования показателей надежности ПО.

2. Отклонения спрогнозированного количества ошибок от экспериментальных данных может быть объяснено влиянием вторичных ошибок. С учетом того, что ни одна из существующих МНПО не учитывает такого влияния, точность результатов моделирования довольно низкая. Поэтому актуальной является разработка моделей, учитывающих появление и влияние вторичных ошибок.

3. Значительное количество разных моделей приводит к проблеме их выбора для конкретного применения. В настоящее время в литературе нет практических указаний о методике выбора МНПО. Поэтому желательно свести количество МНПО к минимуму (в пределе — к одной единственной модели). Решение этой задачи может быть получено только на основе разработки общей концепции, объясняющей закономерности образования и проявления программных ошибок.

Литература

1. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing / A. Avizienis, J.C. Laprie, B. Randell, C. Landwehr // IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing. — 2004. — Vol. 1. — P. 11 — 33.
2. Ямпурин, Н.П. Основы надежности электронных средств / Н.П. Ямпурин, А.В. Баранова. — М.: Академия, 2010. — 114 с.
3. Маевский, Д.А. Анализ моделей надежности программного обеспечения гарантоспособных информационных систем. / Д.А. Маевский, С.А. Яремчук // Электромашиностроение и электрооборудование. — 2010, — Вып. 76, С. 68 — 79.
4. Антошук, С.Г. Экспоненциальные модели надежности и их применимость на различных этапах жизненного цикла программных систем. / С. Г. Антошук, Д.А. Маевский, С.А. Яремчук // Электротехн. та комп'ют. системи. — 2010. — № 1 (77). — С. 93 — 101.
5. Lyu, M.R. Handbook of Software Reliability Engineering. / M.R. Lyu. — London: McGraw-Hill, 1996. — 805 p.
6. Duan, J.T. Learning Curve Approach to Reliability Monitoring / J.T. Duan // IEEE Trans. on Aerospace. — 1964. — Vol. 2. — P. 563 — 566.
7. Musa, J.D. Logarithmic Poisson Time Model for Software Reliability Measurement / J.D. Musa, K. A. Okumoto // Proc. Seventh. Intern. Conf. on Software Engineering. — Orlando, Florida, 1984. — P. 230 — 238.

8. Yamada, S. S-shaped software reliability grows modeling for software error detection / S. Yamada, M. Ohba, S. Osaki // IEEE Trans. Reliability. — 1983. — № 5. — P. 475 — 518.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Антошук С.Г.

Поступила в редакцію 27 января 2011 г.