

УДК 004.519.217

Д.А. МАЕВСКИЙ, Е.Д. МАЕВСКАЯ

Одесский национальный политехнический университет, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В статье приводятся результаты экспериментального анализа точности различных моделей надежности программного обеспечения. Исследовано девять наиболее распространенных моделей надежности. Полученные результаты сравнивались с результатами новой модели, основанной на теории динамики программных систем. Использовано сто двадцать три экспериментально полученных временных ряда отказов по двадцати одной программной системе. Показано, что точность новой модели, более чем в два раза превосходит точность существующих моделей. Проведенные исследования наглядно демонстрируют недостатки существующих моделей надежности.

Ключевые слова: надежность систем, модели надежности программного обеспечения, дефекты программного обеспечения, динамика программных систем.

Введение

Для оценки показателей надежности программного обеспечения (ПО) и прогнозирования их изменений во времени широко используется моделирование. К настоящему времени предложено более двадцати (а с модификациями – более тридцати) разных моделей надежности ПО (МНПО).

Наиболее полное систематизированное описание этих моделей в отечественной литературе приведено в [1], а в иностранной – в [2].

Первоначально считалось, что для описания процесса выявления отказов ПО можно использовать хорошо разработанную к тому времени теорию надежности технических систем. Новой теории, по наследству от предшественницы, достался старый математический аппарат – теория вероятностей. Вероятность здесь считается определенной на пространстве событий – отказах ПО. Этот математический аппарат хорошо зарекомендовал себя при изучении надежности технических систем, поэтому перенос его на системы программные был вполне естественным.

Однако ряд особенностей, присущих именно ПО, показали, что не все на самом деле так просто. Действительно, программная система по своим свойствам и поведению сильно отличается от технической. Характер и причины отказов программных и аппаратных средств различны. Для аппаратуры характерны неисправности и скрытые дефекты тех деталей, из которых она изготовлена. Эти дефекты, как правило, свойственны не всей партии изделий, а отдельным экземплярам. Поэтому отказ одного технического средства по вине одного из его

узлов проявится только в одном экземпляре, а остальные будут продолжать работать нормально. ПО, наоборот, создается в одном экземпляре, а затем его копии тиражируются. Поэтому дефекты, присущие оригиналу будут автоматически присущи и всем его копиям. В силу этого отказ ПО неминуемо произойдет у всех пользователей.

ПО гораздо сложнее аппаратуры. Можно предполагать, что в системах, на несколько порядков сложнее технических, должны действовать другие законы выявления отказов. Именно поэтому механический перенос теории аппаратной надежности на ПО неправомерен.

Косвенным свидетельством в пользу высказанного тезиса могут служить следующие два факта. Во-первых, обращает на себя внимание большое количество разных МНПО. Это не может говорить в пользу хорошей изученности вопроса, а свидетельствует о нашем непонимании сути тех процессов, которые приводят к отказам ПО.

Во-вторых, не существует одной модели, которая систематически показывала бы наилучшие результаты для различных программных систем. Для каждой новой программной системы следует выбирать ту модель, которая наиболее точно описывает закон распределения во времени уже выявленных дефектов. Это приводит к проблеме выбора, которая усугубляется большим количеством моделей.

Попытка нового концептуального подхода к теории надежности ПО сделана в работах [3] и [4]. В них представлены основы теории динамики программных систем (ДПС), в которой программная система рассматривается как открытая система, находящаяся в неравновесном состоянии со своей ок-

ружающей средой – предметной областью. В основу ДПС положена теория неравновесных процессов, а выявление имеющихся и внесения новых вторичных дефектов в систему рассматривается как результат взаимодействия двух противоположно направленных потоков дефектов.

В [5], на базе теории ДПС, предлагается новая модель надежности (модель ДПС), которая свободна от недостатков, присущих известным моделям. Настоящая статья посвящена сравнительному анализу точности модели ДПС и ряда широко используемых традиционных МНПО.

1. Краткое описание исследуемых МНПО

Большое количество МНПО привело к необходимости их классификации. привело к необходимости их классификации. На сегодня создано несколько классификационных схем. Наиболее распространенная классификация предложена Мусой и Окумото [6]. В ней выделяются такие классификационные признаки:

1. **Время модели.** Определяет систему отсчета времени, применяемую в модели – текущее астрономическое (календарное время) время или процессорное время, затраченное на работу с данной ПС к моменту выявления дефекта.

2. **Категория модели.** Определяет количество дефектов, которое может быть выявлено при бесконечно большом времени исследования. По этому признаку модели делятся на конечные и бесконечные.

3. **Тип модели.** Определяет распределение вероятности наступления случайных событий – выявления дефекта. В моделях надежности используются два типа распределения – распределение Пуассона и биномиальное распределение.

4. **Класс модели.** Этот признак применяется только для категории конечных моделей и определяет вид функции, описывающей закон изменения интенсивности проявления дефектов.

5. **Семейство.** Этот признак применяется только для бесконечных моделей и имеет тот же смысл, что и класс для конечных.

Для оценки точности моделирования показателей надежности было проведено исследование наиболее распространенных моделей, принадлежащих различным ветвям рассмотренной классификации. Их характеристики приведены ниже

Модель Желинского-Моранды. Время – астрономическое, категория – конечная; тип – биномиальная; класс – экспоненциальная.

1. **Модель Гела-Окумото.** Время – астрономическое, категория – конечная; тип – Пуассоновская; класс – экспоненциальная.

2. **Модель Шнайдервинда.** Время – астрономическое, категория – конечная; тип – Пуассоновская; класс – экспоненциальная.

3. **Модель Мусы.** Время – процессорное, категория – конечная; тип – Пуассоновская; класс – экспоненциальная.

4. **Модель распределения Вейбулла.** Время – процессорное, категория – конечная; тип – биномиальная; класс – экспоненциальная.

5. **S-образная модель.** Время – астрономическое, категория – конечная; тип – Пуассоновская; класс – гамма-распределение.

6. **Модель Дюэна.** Время – астрономическое, категория – бесконечная; тип – Пуассоновская; семейство – гамма-распределение.

7. **Геометрическая модель Моранды.** Время – астрономическое, категория – бесконечная; тип – Пуассоновская; семейство – экспоненциальная.

8. **Логарифмическая модель Мусы-Окумото.** Время – астрономическое, категория – бесконечная; тип – Пуассоновская; семейство – экспоненциальная.

9. **Модель ДПС [5].** Время – любое, категория – конечная, тип и категория не могут быть определены, так как модель не основана на теории вероятностей.

2. Результаты исследований

С целью исследования точности моделирования и возможностей применения описанных моделей надежности использовались временные ряды выявленных дефектов в двадцати одной программной системе. Данные для исследования взяты из [2] и [8].

Краткие сведения об экспериментальных рядах данных приведены ниже.

1. Источник [8]. ОС «Андроид», версия 2.3. 765 точек с 12.01.2008 по 08.09.2008. В настоящее время на сайте доступна информация о более чем 16000 дефектах.

2. Источник [2], приложения к главе 4, файл Csr1.dat. Программная система не указана. 397 точек, ряд неравномерен, разброс по времени от 1 до 4000 единиц.

3. Источник [2], приложения к главе 4, файл Csr2.dat. Программная система не указана. 129 точек, ряд неравномерен, разброс по времени от 1 до 8000 единиц.

4. Источник [2], приложения к главе 4, файл Csr3.dat. Программная система не указана. 104 точки, ряд неравномерен, разброс по времени от 0,5 до 400 единиц.

5. Источник [2], приложения к главе 4, файл SS3.dat. Программная система не указана. 278 точек,

ряд неравномерен, разброс по времени от 1 до 750000 единиц.

6. Источник [2], приложения к главе 4, файл Sys1.dat. Программная система не указана. 136 точек, ряд неравномерен, разброс по времени от 4 до 6150 секунд.

7. Источник [2], приложения к главе 7, файл Sys1.dat. Программная система не указана. 136 точек, ряд неравномерен, разброс по времени от 0 до 61500 единиц.

8. Источник [2], приложения к главе 7, файл Sys2.dat. Программная система не указана. 86 точек, ряд неравномерен, разброс по времени от 0,005 до 5,5 миллисекунд.

9. Источник [2], приложения к главе 7, файл Sys3.dat. Программная система не указана. 207 точек, разброс по времени от 1 до 673 секунд.

10. Источник [2], приложения к главе 7, файл J1.dat. Программная система не указана. 62 точки.

11. Источник [2], приложения к главе 7, файл J2.dat. Программная система не указана. 181 точка.

12. Источник [2], приложения к главе 7, файл J3.dat. Программная система не указана. 41 точка.

13. Источник [2], приложения к главе 7, файл J4.dat. Программная система не указана. 114 точек.

14. Источник [2], приложения к главе 7, файл J5.dat. Программная система не указана. 73 точки.

15. Источник [2], приложения к главе 8, файл 8.dat. Распределенная мультипроцессорная система (5 процессоров, связанных по локальной сети). 186 точек.

16. Источник [2], приложения к главе 9, файл Odc1.dat. Крупный IBM проект, содержащий более 10000 строк кода. 1207 точек.

17. Источник [2], приложения к главе 9, файл Odc3.dat. Программная система не указана. 54 точки.

18. Источник [2], приложения к главе 10, файл S2.dat. Программная система не указана. 54 точки. Ряд крайне неравномерен, разброс по времени от 0 до 15000 секунд.

19. Источник [2], приложения к главе 10, файл S27.dat. Программная система не указана. 41 точка. Ряд крайне неравномерен, разброс по времени от 220 до 1209600 секунд.

20. Источник [2], приложения к главе 10, файл SS4.dat. Программная система не указана. 197 точек.

21. Источник [2], приложения к главе 10, файл SS1.dat. Бразильская Электронная Переключающая Система, TROPICO R-1500 для 1500 подписчиков. Размер около 300 Кбайт, язык ассемблера. 81 точка.

Для оценки точности моделирования использовался критерий среднего квадратичного отклонения (СКО)

$$СКО = \frac{\sum_{i=1}^n (f_{io} - f_{ic})^2}{n},$$

где n – количество точек в экспериментальной кумулятивной кривой; f_{io} – наблюдаемое (observed) значение i -й точки кривой; f_{ic} – вычисленное (calculated) на основании моделирования значение.

Полученные значения СКО для исследованных моделей приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты исследования моделей надежности

№	Модель	СКО
1	Джелинского-Моранды	35,99
2	Гела-Окумото	77,92
3	Шнайдервинда	28,14
4	Мусы	12,80
5	распределения Вейбулла	9,73
6	S-образная	9,09
7	Дюэна	40,94
8	Геометрическая Моранды	77,13
9	Логарифмическая Мусы-Окумото	36,24
10	ДПС	3,70

Из этой таблицы следует, что точность моделирования для модели ДПС более чем в два раза (точное значение 2,46) превышает точность, показанную лучшей из имеющихся моделей – S-образной модели.

Данные табл. 1 графически представлены на рис. 1.

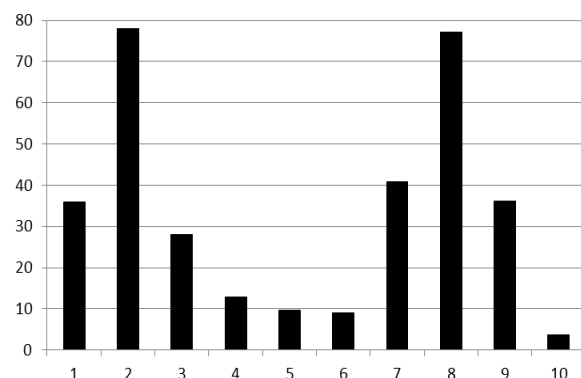


Рис. 1. Сравнение точности моделирования

По оси абсцисс на рис. 1. показаны номера модели согласно таблице 1, по оси ординат – значения СКО.

Результаты исследований показывают, что известные модели надежности отличаются крайне большим разбросом значений СКО от системы к системе.

В табл. 2 показаны значения дисперсии (σ^2), при помощи которых можно численно характеризовать этот разброс.

Таблица 2

Дисперсия значений СКО

№	Модель	σ^2	$\ln(\sigma^2)$
1	Джелинского-Моранды	3533,08	3,55
2	Гела-Окумото	9070,12	3,96
3	Шнайдервинда	1965,68	3,29
4	Мусы	545,40	2,74
5	распределения Вейбулла	86,036	1,93
6	S-образная	66,743	1,82
7	Дюэна	5644,70	3,75
8	Геометрическая Моранды	54778,68	4,74
9	Логарифмическая Мусы-Окумото	4835,76	3,68
10	ДПС	17,83	1,25

Согласно табл. 2, модель ДПС показала самое малое значение дисперсии, которое более чем в тридцать раз меньше, чем наилучшее значение для модели Мусы.

Для возможности графического отображения данных этой таблицы, в ее последнем столбце приведены значения логарифмов от дисперсии.

На рис. 2 показан график, построенный по этим значениям.

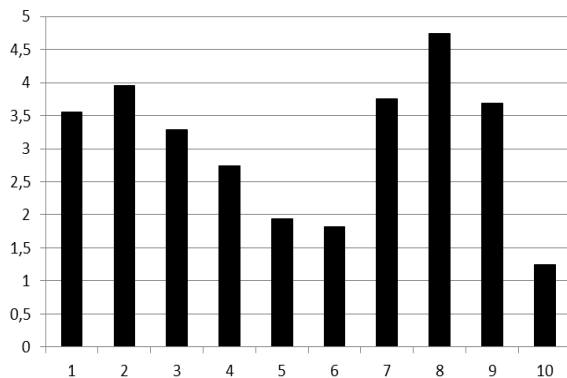


Рис. 2. Разброс значений СКО

На оси абсцисс графика показаны номера модели, по оси ординат – логарифмы дисперсии.

Выводы

Проведенные исследования наглядно демонстрируют недостатки существующих моделей надежности – низкую точность моделирования и сильную зависимость результатов от используемых рядов данных.

Модель, основанная на теории динамики программных систем, свободна от указанных недостатков. Поэтому можно утверждать, что эта модель может выступать в качестве единой модели надежности ПО, позволяющий получить высокую точность независимо от моделируемой программной системы.

Литература

1. Lyu, M.R. *Handbook of Software Reliability Engineering*. / M.R. Lyu. – London: McGraw-Hill, 1996. – 805 p.
2. Харченко, В.С. *Методы моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения [Текст]: учеб. пособие* / В.С. Харченко, В.В. Скляр, О.М. Тарасюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2004. – 159 с.
3. Маевский, Д.А. *Динамика программных систем и модели их надежности. [Текст]* / Д.А. Маевский // *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. – 2011. – № 2 (54). – С. 45 – 54.
4. Маевський, Д.А. *Структурна динаміка програмних систем та прогнозування їх надійності при наявності вторинних дефектів [Текст]* / Д.А. Маевський // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 3 (48). – С. 103 – 109.
5. Маевский Д.А. *Моделирование надежности в теории динамики программных систем [Текст]* / Д.А. Маевский // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2011. – Вып. (04)80. – С. 147 – 153.
6. Musa, John D. *Software Reliability Models: Concepts, Classification, Comparisons, and Practice [Text]* / D. John Musa, K. Okumoto // *Electronic Systems Effectiveness and Life Cycle Costing*, J.K. Skwirzynski (ed.), NATO ASI Series, F3, Springer-Verlag, Heidelberg. – P. 395-424.
7. *Android – An Open Handset Alliance Project [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://code.google.com/p/android/issues/list>. – 12.01.2012 г.

Поступила в редакцию 12.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Поморова, Хмельницкий национальный университет, Украина.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МОДЕЛЕЙ НАДІЙНОСТІ
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ***Д.А. Маєвський, Є.Д. Маєвська*

У статті наводяться результати експериментального аналізу точності різних моделей надійності програмного забезпечення. Досліджено дев'ять найбільш поширених моделей надійності. Отримані результати порівнювалися з результатами нової моделі, що ґрунтується на теорії динаміки програмних систем. Використано сто двадцять три експериментально отриманих часових рядів відмов по двадцять одній програмній системі. Показано, що точність нової моделі більш ніж в два рази перевершує точність існуючих моделей. Проведені дослідження наочно демонструють недоліки існуючих моделей надійності.

Ключові слова: надійність систем, моделі надійності програмного забезпечення, дефекти програмного забезпечення, динамічні системи

**EXPERIMENTAL ANALYSIS
OF SOFTWARE RELIABILITY MODELS ACCURACY***D.A. Maevsky, E.D. Maevskaya*

The paper contains results of an experimental analysis of the accuracy of various software reliability models. Nine most popular models were analyzed. Their results were compared to those of the new model which is based on the theory of the dynamics of software systems. Research data includes one hundred twenty-three defect time series for twenty-one software system. As a result it is shown that the accuracy of the new model exceeds existing ones more than two times. The research shows visual shortcomings of existing reliability models. The proposed new model is free of specified drawbacks.

Key words: reliability of the systems, models of reliability of software, software failures, programming defects, dynamics of software systems.

Маєвський Дмитрій Андреевич – канд. техн. наук, доцент, заведуючий кафедрою теоретических основ и общей электротехники Одесского национального политехнического университета, Одесса, Украина, e-mail: toe-onpu@ukr.net.

Маєвська Елена Дмитриевна – студентка інститута комп'ютерних систем (ИКС) Одесского национального политехнического университета, Одесса, Украина, e-mail: lmd29@ukr.net.