

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАРАНТОСПОСОБНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Розглянуто основні моделі надійності програмних засобів гарантоздатних інформаційних систем та наведено варіанти їх класифікації. Проаналізовано ступінь відповідності цих моделей експериментальним даним.

Рассмотрены основные модели надежности программных средств гарантоспособных информационных систем и приведены варианты их классификации. Проанализирована степень соответствия рассматриваемых моделей экспериментальным данным.

In the article the basic models of reliability of programmatic facilities of the dependability information systems are considered and variants over of their classification are brought. The degree of accordance of the examined models to experimental data is analysed.

Введение. В настоящее время компьютерные информационные системы нашли применение во всех областях человеческой деятельности. Вместе с несомненными выгодами от их использования растут и негативные эффекты, связанные с тем, что человечество становится заложником их надежности и безопасности. Нарушение, прекращение или неверное их функционирование могут привести к серьезным последствиям для экологии и жизни людей, а в лучшем случае – к большим материальным потерям. Поэтому несомненно актуальными являются вопросы повышения надежности компьютерных систем (КС) и обеспечение их гарантоспособности.

Гарантоспособность – это комплексное свойство КС, включающее в себя надежность, функциональную и информационную безопасность [7]. Факторами, отрицательно влияющими на гарантоспособность КС, являются дефекты и уязвимости аппаратных средств, дефекты программных продуктов, ошибочные действия персонала, искаженные исходные данные, хакерские атаки и др. Для обеспечения гарантоспособности необходимо повышать отказоустойчивость и отказобезопасность КС, а также использовать структурную, временную, информационную и другие виды избыточности [4].

Главной и неотъемлемой частью, влияющей на гарантоспособность КС, является их программное обеспечение (ПО).

От надежности его функционирования в значительной степени зависит гарантоспособность КС в целом.

Исследованиям надежности ПО посвящены работы многих авторов в течении последних сорока лет. Математический аппарат теории программной надежности базируется на общей теории надежности технических устройств. Однако особенности ПО, отличающие его от технических устройств, делают неприменимыми многие основные положения общей теории надежности. Поэтому усилиями специалистов многих стран за последние годы разработано более двадцати разнообразных моделей надежности программного обеспечения (МНПО), основным назначением которых является прогнозный расчет основных показателей надежности.

Обзор систем классификации моделей надежности программного обеспечения. Математическая модель надежности – это математическое выражение, основанное на специфических допущениях о свойствах ПО, особенностях его разработки и эксплуатации, и позволяющее количественно определить один или несколько показателей надежности. В качестве входных данных моделей надежности выступают характеристики как самого ПО, так и этапов его жизненного цикла. Выходными данными являются показатели, характеризующие надежность.

Большое разнообразие моделей надежности требует разработки методов их классификации.

Классификация, предложенная Благодатских В.А. в работе [2] – одна из наиболее простых. Она разделяет МНПО на аналитические и эмпирические.

Аналитические модели дают возможность рассчитать количественные показатели надежности, основываясь на статистических данных потока отказов во время тестирования или эксплуатации. Эмпирические базируются на анализе структурных особенностей программы.

Аналитические модели, в свою очередь, делятся на динамические и статические.

В динамических моделях (моделях непрерывного времени) появление отказов ПО рассматривается как непрерывный временной процесс, в котором фиксируется момент времени каждого отказа. В статических моделях (моделях дискретного времени) фиксируется общее число отказов за определенный временной интервал. В статических моделях появление отказов обычно связывают не со временем, а с количеством тестовых прогонов (модели по области ошибок), либо с характеристиками множества входных данных (модели по области данных).

Классификация Полонникова Р.И. более полна. Автор [5] предлагает разделить все модели на классы по следующим признакам: структура времени, сложность ПО, разметка ошибок, структура пространства входных данных, структура текста программы.

В классификации Хетча [10] предложено деление МНПО на прогнозирующие, измерительные и оценочные.

Прогнозирующие модели основаны на технических характеристиках создаваемой программы: длина, сложность, количество циклов, степень их вложенности и т.д.

Измерительные модели предназначены для измерения надежности ПО с фиксированной конфигурацией, которое работает с заданной внешней средой.

Оценочные модели основываются на серии прогонов программы, и как правило, применяются на этапах тестирования или эксплуатации. Кроме того, результаты прогнозирующих моделей могут использоваться как исходные данные для оценочной модели.

Классификация Гоэла [9] разделяет модели надежности на четыре класса – без подсчета ошибок, с подсчетом ошибок, с подсевом ошибок, с выбором областей входных значений.

Модели без подсчета ошибок учитывают только интервалы времени между отказами и на основе изменения этих интервалов позволяют спрогнозировать количество ошибок, оставшихся в программе.

Модели с подсчетом отказов базируются на подсчете количества ошибок, обнаруженных в течение заданных интервалов времени.

Модели с подсевом ошибок основаны на внесении в программу некоторого известного числа искусственных ошибок, тип и расположение которых также известны. При тестировании обращается внимание на выявление «засеянных» ошибок и строится прогноз относительно влияния на ПС остальных (естественных) ошибок.

Модели с выбором области входных значений основываются на генерации множества тестовых выборок из входного распределения. При этом оценка надежности проводится по полученным отказам на основе тестовых выборок из входной области.

По классификации В.С. Харченко [6], МНПС можно разделить на следующие типы: параметрические, статистические, структурные, вероятностные.

Параметрические модели используют для прогнозирования числа дефектов такие параметры ПО, как объем, количество операторов, констант, переменных и т.д.

Статистические модели определяют показатели надежности на основе статистического анализа с использованием метода подсева ошибок. Структурные модели основаны на моделировании структуры и его входных данных.

Структурные модели основаны на моделировании структуры ПО и его входных данных. При этом наиболее часто используется представление в виде графа.

Вероятностные модели (модели роста надежности) используют статистические данные об обнаруженных дефектах для расчета основных показателей надежности.

Кроме приведенных схем классификации, МНПО можно классифицировать по

подходу к оценке вероятности распределения отказов – как основанном на марковском процессе, или пуассоновском процессе.

По фактору распределения интенсивности отказов можно разделить модели на экспоненциальные, логарифмические, геометрические и байесовские.

Предметом настоящего исследования являются модели периода эксплуатации ПО. Выбор конкретных моделей обусловлен возможностью их использования конечными пользователями. Такими являются модели: переходного процесса, Джелинского – Моранды, Шика – Волвертона, простая экспоненциальная, экспоненциальная Мусы, геометрическая Моранды, Вейбулла, Дюэна, логарифмическая Мусы – Окумото, S-образного роста надежности, S-образного роста надежности с перегибами.

Все приведенные модели можно классифицировать:

по классификации Благодатских – аналитические, динамические;

по классификации Полонникова – по структуре времени;

по классификации Хетча – оценочные;

по классификации Гоэла – с подсчетом отказов;

по классификации Харченко – вероятностные.

Результаты, рассчитанные по этим моделям, сравнивались с экспериментальными данными, полученными за первые двенадцать месяцев эксплуатации разработанной при участии С.А. Яремчук учетной информационной системы, выполняющей функции учета и анализа платежей на одном из коммунальных предприятий в г.Измаил, работающей с 2007 г. по настоящее время. Система работает в сетевом режиме (5 рабочих мест). В течение каждого месяца эксплуатации систем используется около 960 ч. Объем проекта оценивается как средний и составляет около 10 тысяч строк программного кода. Данные по количеству обнаруженных за первый год эксплуатации ошибок приведены в табл.1.

Для количественной оценки степени ответственности 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 интервал времени с номером i .

1. Экспериментальные данные

Месяцы	Кумулятивное время работы, час.	Число ошибок за месяц	Кумулятивная статистика ошибок
1-й	800	8	8
2-й	1 600	6	14
3-й	2 400	6	20
4-й	3 200	4	24
5-й	4 000	3	27
6-й	4 800	6	33
7-й	5 600	3	36
8-й	6 400	2	38
9-й	7 200	1	39
10-й	8 000	0	39
11-й	8 800	2	41
12-й	9 600	1	42

Результаты исследований

1. Модель переходного процесса. В работе [1] описана предложенная Д.А.Маевским модель, которая рассматривает процесс выявления ошибок как переходный процесс в программной системе. Модель основана только на данных о распределении уже выявленных ошибок во времени и не требует знания никаких других характеристик ПО, что является ее несомненным преимуществом. К достоинствам модели следует также отнести простоту математических расчетов.

Проявление ошибок в данной модели рассматривается как марковский процесс, распределение интенсивности отказов экспоненциальное.

Допущения модели:

скорость выявления ошибок (количество ошибок в единицу времени) зависит от количества ошибок и интенсивности работы с системой и уменьшается с уменьшением числа ошибок;

обнаруженная ошибка исправляется до следующего обращения к системе;

во время исправления ошибок новые ошибки не вносятся.

Модель использует следующие аналитические выражения:

$$R_0 = \frac{q(t)}{1 - e^{-\frac{f}{S}t}}, \quad (2)$$

$$q(x) = R_0 \cdot (1 - e^{-\frac{f}{S}x}), \quad (3)$$

где R_0 – количество потенциальных ошибок в начале эксплуатации ПО; – количество найденных к моменту времени t ошибок; f – частота обращений к системе; S – сложность системы.

По результатам исследований (табл.2) расчетное значение критерия МСКО составило 13,3710. Модель абсолютно точно прогнозирует суммарное количество ошибок.

2. Модель Джелинского–Моранды.

Модель описана в работе [14]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как марковский процесс, распределение интенсивности отказов экспоненциальное.

Допущения модели:

интенсивность обнаружения ошибок пропорциональна текущему числу ошибок в программе;

все ошибки одинаково вероятны и их появление не зависит одна от другой;

каждая ошибка имеет один и тот же порядок серьезности;

время до следующего отказа распределено экспоненциально;

ПО функционирует в среде, близкой к реальным условиям;

ошибки постоянно корректируются без внесения новых;

интенсивность обнаружения ошибок равна константе в интервале между двумя смежными моментами появления ошибок.

Функция интенсивности отказов имеет вид

$$\lambda(t_i) = K(N - i + 1). \quad (4)$$

Функция среднего значения текущего количества отказов

$$n(t) = N \cdot (1 - e^{-\varphi \cdot t}). \quad (5)$$

Параметры модели:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{N - i + 1} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i}{(N + 1) \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n i x_i}, \quad (6)$$

$$\varphi = \frac{n}{(N - 1) \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n i x_i}. \quad (7)$$

где N – исходное неизвестное количество ошибок в ПО; i – порядковый номер ошибки; x_i – интервалы времени между соседними проявлениями ошибок.

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 17,1468. Модель сложна для математических вычислений и менее точно (с погрешностью 1,6%) прогнозирует суммарное количество ошибок ПО.

3. Модель Шика – Волвертона.

Модель описана в работе [16]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как марковский процесс, распределение интенсивности отказов экспоненциальное. Модель является модификацией модели Джелинского–Моранды.

Основное допущение модели основано на том, что интенсивность обнаружения ошибок пропорциональна числу остаточных ошибок и длительности i -го интервала отладки:

$$\lambda(t_i) = K(N_0 - i + 1)t_i, \quad (8)$$

$$t_{i-1} < t_i < t_{i+1}$$

где N_0 – начальное количество ошибок; K – коэффициент пропорциональности; t_i – промежуток времени между ошибками:

$$N_0 = \left[\frac{2n}{K} + \sum_{i=1}^n (i-1)t_i^2 \right] \frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i^2}, \quad (9)$$

$$K = \left[\sum_{i=1}^n \frac{2}{N_0 - (i-1)} \right] \frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i^2}. \quad (10)$$

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 68,9983. Модель значительно занижает суммарное количество ошибок ПО (погрешность составляет 8,3%), более сложна, чем модель Джелинского–Моранды для математических вычислений.

Кроме того, в этой модели предполагается (8), что интенсивность отказов с течением времени линейно возрастает, поскольку возрастает длительность временных интервалов между ошибками. Это справедливо для технических устройств и не соответствует свойствам программного обеспечения, что делает применение модели весьма спорным, особенно при длительном времени эксплуатации.

4. Экспоненциальная модель. Модель описана в работе [11]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как марковский процесс, распределение интенсивности отказов экспоненциальное.

Допущения модели:

интенсивность обнаружения ошибок пропорциональна суммарному числу ошибок, имеющихся в данный момент в комплексе программ. Однако некоторые исправления в свою очередь могут внести дополнительные ошибки. Кроме того, некоторые ошибки являются связанными, и при обнаружении проявления одной ошибки следует исправление нескольких ошибок. Вследствие этого частота обнаружения ошибок и частота их исправления не равны, а связаны некоторым коэффициентом пропорциональности K :

ошибка в ПС либо фиксируется и исправляется, либо вообще не обнаруживается, значения интервалов времени между проявлениями ошибок изменяются по экспоненциальному закону;

время работы между ошибками определяется средним временем выполнения команды на данной ЭВМ и средним количеством команд, исполняемых между ошибками;

интенсивность проявления ошибок остается постоянной, пока не произведено исправление очередной ошибки.

Количество исправленных ошибок

$$n(t) = N_0(1 - e^{-Kt}). \quad (11)$$

Уравнение для определения значения начального количества ошибок N_0 :

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{N_0 - (i-1)} = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i}{N_0 \sum_{i=1}^n t_i - \sum_{i=1}^n (i-1)t_i}, \quad (12)$$

где t_i – моменты обнаружения ошибок.

Выражение для расчета коэффициента пропорциональности K имеет вид

$$K = \frac{n}{N_0 \sum_{i=1}^n t_i - \sum_{i=1}^n (i-1)t_i}. \quad (13)$$

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 13,9287. Модель немного занижает суммарное количество ошибок ПС (погрешность составляет 4,6%), также сложна для математических вычислений параметров модели. На первый взгляд, вследствие четвертого допущения данную модель можно использовать для прогнозирования вторичных ошибок, т.е. таких ошибок, которые вносятся при выполнении исправлений. На самом деле это невозможно из-за двух обстоятельств. Первое заключается в предположении линейной зависимости между частотой обнаружения ошибок и частотой их исправления с коэффициентом пропорциональности K . Такая зависимость не может быть линейной, так как в каждом конкретном исправлении может быть внесено разное число вторичных ошибок и коэффициент K не остается неизменным. Действительно, предположим, что в какой-то момент времени обнаружена одна ошибка. Если при ее исправлении не внесено новых ошибок, то $K = 1$. Если при исправлении этой ошибки внесена одна новая, то общее число исправленных ошибок не изменилось и $K = 0$. Если внесено две новые ошибки, то $K = 0,5$ и так далее.

Второе, и самое важное обстоятельство заключается в том, что после любого исправления любой ошибки мы вообще-то имеем дело уже с *другой программной системой*, для которой текущая модель уже неприменима. Это связано с тем, что как правило, при исправлениях изменяется программный код системы, количество операторов, а иногда и структура отдельных участков программы. Это приводит к тому, что основные допущения, используемые, в моделях меняются. Например, в рассматриваемой экспоненциальной модели изменяются коэффициенты в экспоненциальной зависимости интервалов времени между обнаружением ошибок и, как мы видели, коэффициент K . Таким образом, после любого исправления значения всех ключевых параметров мо-

дели меняются вслед за изменениями моделируемой программной системы.

5. Экспоненциальная модель Муссы.

Модель описана в работе [13]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как марковский процесс, распределение интенсивности отказов экспоненциальное. Эта модель относится к экспоненциальным моделям, и использует те же допущения, что и предыдущая экспоненциальная модель. Отличия заключаются в том, что модель Муссы использует так называемую теорию длительности обработки. Надежность оценивается в процессе эксплуатации, в котором выделяют время реальной работы процессора и календарное время с учетом простоя и ремонта. Для числа обнаруженных ошибок выводится формула:

$$n(t) = N_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{Ct}{N_0 T_0}\right) \right], \quad (14)$$

где T_0 – наработка между отказами перед началом отладки или эксплуатации, N_0 – начальное число ошибок, C – коэффициент пропорциональности. Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{C}{T_0} \exp\left(-\frac{Ct}{N_0 T_0}\right). \quad (15)$$

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 13,9119. Модель занижает суммарное количество ошибок ПС (погрешность составляет 4,86 %). Из-за простоты вычислений модель проста в применении. Поскольку рассматриваемая модель относится к классу экспоненциальных, она дает очень близкие к экспоненциальным результаты прогнозирования.

6. Геометрическая модель Моранды.

Модель описана в работе [12]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как марковский процесс, интенсивность отказов подчинена геометрическому закону, аналитическое выражение интенсивности отказов – степенное.

В данной модели предполагается, что исходное число ошибок в программе – величина не фиксированная, а само проявление ошибок не равновероятно.

Предполагается, что по мере отладки обнаруживать ошибки становится все труд-

нее, поэтому ПО никогда не освобождается от ошибок.

Основные допущения модели:

общее число ошибок не ограничено;
обнаружение ошибок не равновероятно;
обнаружение ошибок – процесс, не зависящий от ошибок;

интенсивность обнаружения ошибок принимает форму геометрической прогрессии, и ее характеристики в интервале между ошибками постоянны:

$$\lambda(t) = DK^{i-1}, \quad t_{i-1} < t < t_i, \quad (16)$$

где $D = \lambda(0)$ – исходное значение интенсивности отказов; $0 < K < 1$ – постоянный коэффициент; i – количество обнаруженных ошибок; t – временной интервал между соседними ошибками.

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 71,1959, что значительно больше, чем у предыдущих моделей. Модель завышает суммарное количество ошибок ПС (погрешность составляет 9,54 %), особенно в начальных временных интервалах. Эту модель можно применять только в случае небольшой длительности отладки или эксплуатации.

7. Модель Вейбулла.

Модель описана в работе [15]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как марковский процесс, модель использует вейбулловское распределение интенсивности отказов, аналитическое выражение интенсивности отказов – степенное.

Специфические допущения данной модели в литературе не описаны. Модель построена на вейбулловском распределении случайных величин, вследствие чего интенсивность отказов задается соотношением:

$$\lambda(t) = m\lambda^m t^{m-1}, \quad (17)$$

где λ и m – параметры модели. Подбирая эти параметры, можно получить хорошее соответствие опытным данным.

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 64,8592. Модель также завышает суммарное количество ошибок ПС (погрешность составляет 11,98 %), особенно на ранних временных интервалах.

Недостатком модели является ее отвлеченный от предметной области характер. Действительно, подбирая нужным образом коэффициенты λ и m в формуле (17), можно получить хорошее соответствие любым наблюдаемым данным – не только распределению ошибок ПО, но и например, подобрать аналитическое выражение для главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рессела для шаровых звездных скоплений. Но это отнюдь не свидетельствует о том, что модель работает и в теоретической астрофизике. Ее коэффициенты, никак не связаны ни с какой предметной областью, а полученные на ее основании результаты – не более чем игра цифр.

8. Модель Дюэна. Модель описана в работе [8]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как пуассоновский процесс, аналитическое выражение расчета среднего значения количества отказов степенное.

Допущения модели:

обнаружение всех ошибок равновероятно;
Серьезность ошибок одинакова;

проявление ошибок – процесс независимый;

общее число ошибок, обнаруженных к произвольному моменту времени t , подчиняется распределению Пуассона со средним значением

$$m(t) = \alpha t^\beta, \quad (18)$$

где α и β – параметры модели.

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 22,4036. Модель завышает суммарное количество ошибок ПС (погрешность составляет 9,62 %), особенно в последних временных интервалах.

9. Логарифмическая модель Мусы – Окумото. Модель описана в работе [14]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как пуассоновский процесс, распределение интенсивности отказов экспоненциальное, аналитическое выражение для расчета среднего значения количества ошибок – логарифмическое.

В логарифмической модели Мусы-Окумото допускается, что некоторые ошибки имеют более высокую вероятность проявления, чем другие. Среднее снижение числа

отказов с каждой исправленной ошибкой имеет экспоненциальное распределение. При таких допущениях функция $n(t)$, которая описывает взаимосвязь между количеством проявленных дефектов и временем, затраченным на тестирование и устранение дефектов имеет вид

$$n(t) = \frac{1}{K} \ln(\lambda_0 K t + 1), \quad (19)$$

где λ_0 – начальное значение интенсивности отказов; K – коэффициент, который характеризует экспоненциальное падение интенсивности отказов с каждой исправленной ошибкой.

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 27,8000. Модель значительно завышает суммарное количество ошибок ПС (погрешность составляет 23,45 %), особенно во второй половине времени эксплуатации.

10. Модель S-образного роста надежности. Модель представляет собой модификацию неоднородного процесса Пуассона для получения кривой S-образной формы. Главное допущение модели: интенсивность отказов сначала растет, затем, с течением времени тестирования или эксплуатации – уменьшается.

Модель описана в работе [17]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как неоднородный пуассоновский процесс, аналитическое выражение расчета среднего значения количества отказов экспоненциальное.

Данная модель отражает тот факт, что процесс выявления ошибок состоит из двух этапов – этапа проявления ошибки в виде отказа, и этапа поиска и устранения дефекта, вызвавшего отказ или ошибочные действия программы. В этом состоит ее главное отличие от экспоненциальных моделей, которые не разделяют время поиска и устранения дефекта. С течением времени разница между S-образной кривой роста и экспоненциальной кривой предыдущих рассмотренных моделей уменьшается.

Основные допущения модели:

- все ошибки в ПС независимы;
- время между проявлением дефекта и устранением его причины влияет на показатели надежности программной системы;

ошибка устраняется полностью, в процессе устранения новые ошибки не вносятся.

Аналитическим выражением модели является S-образная кривая роста надежности

$$n(t) = v \cdot [1 - (1 + \beta \cdot t) \cdot e^{-\beta t}], \quad (20)$$

где v – начальное количество ошибок; β – скорость выявления и устранения ошибки.

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 57,0200. Модель достаточно точно отражает суммарное количество ошибок ПС (погрешность составляет всего 0,02 %). Однако количество ошибок на каждом временном интервале значительно и бессистемно отклоняется от экспериментального.

11. Модель S-образного роста надежности с перегибами. Как и предыдущая, рассматриваемая модель представляет собой модификацию неоднородного процесса Пуассона для получения кривой S-образной формы. Главное допущение модели такое же, как и предыдущей.

Модель описана в работе [17]. Проявление ошибок в данной модели рассматривается как неоднородный пуассоновский процесс, аналитическое выражение расчета среднего значения количества отказов экспоненциальное. Эта модель имеет дополнительные допущения:

ошибки могут быть взаимозависимы, т.е. некоторые из них не проявляются до устранения других (принцип взаимной компенсации ошибок);

вероятность выявления отказа в единицу времени пропорциональна текущему количеству проявленных ошибок;

все проявленные отказы устраняются, и при этом новые дефекты не вносятся.

Модель имеет S-образную кривую в соответствии со следующим выражением:

$$n(t) = v \frac{1 - \exp(-\beta \cdot t)}{1 + \psi \exp(-\beta \cdot t)}, \quad (21)$$

где v – начальное количество дефектов ПО; β – скорость нахождения и устранения дефекта; ψ – параметр перегиба, определяемый, $\psi(r) = (1 - r)/r$, $0 \leq r \leq 1$, r – частота перегибов, представляющая собой отношение обнаруженных дефектов к общему их количеству. При $r = 1$ эта модель эквивалентна

экспоненциальной модели, а при $r < 0.5$ приобретает S-образную форму.

По результатам исследований (табл.2), расчетное значение критерия МСКО составило 43,97. Модель сильно занижает суммарное количество ошибок ПС (погрешность составляет 27,85 %). Количество ошибок на временных интервалах значительно отклоняется от экспериментального в сторону уменьшения в первой половине времени эксплуатации.

Графическое представление полученных результатов. Результаты расчета количества программных ошибок по моделям 1, 2, 3 и 4 представлены на рис. 1.



Рис. 1. Результаты расчетов (модели 1 – 4)

Из рис. 1 видно, что все расчетные кривые близки к экспериментальной, но ни одна из них не отражает всплески ошибок на экспериментальной кривой, которые появляются вследствие изменений и обновлений ПО. Результаты расчета количества программных ошибок по моделям 5, 6, 7 и 8 представлены на рис. 2.

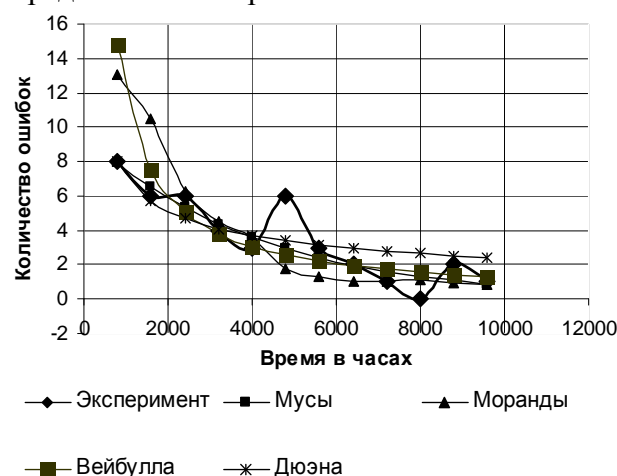


Рис.2. Результаты расчетов (модели 5 – 8)

Модели 5 – 8 дают большие разбросы экспериментальной и расчетных кривых. выше, чем на рис.1. Ни одна из расчетных кривых не отражает всплески ошибок на экспериментальной кривой.

Результаты расчета количества программных ошибок по моделям 9, 10, и 11 представлены на рис. 3.

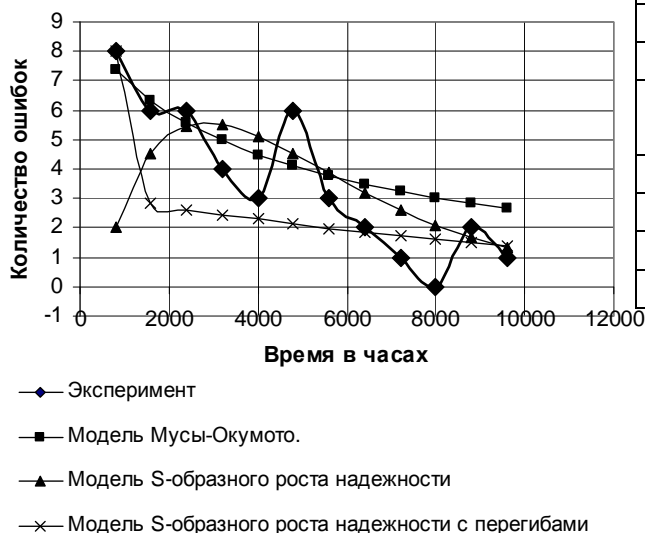


Рис 3. Результаты расчетов (модели 9 – 11)

Анализируя результаты трёх последних МНПО, следует отметить, что разброс экспериментальных и расчетных данных здесь гораздо выше, чем на рис.1 и рис.2. Расчетные кривые имеют всплески и перегибы, однако они далеки от экспериментальной кривой.

Выводы.

Обобщенные результаты расчетов приведены в табл.3. В ней все модели расположены в порядке возрастания критерия МСКО.

Из этой таблицы следует, что экспериментальным данным лучше всего соответствуют экспоненциальные модели, среди которых на первом месте и по точности результатов, и по удобству их получения находится модель переходного процесса. Кроме того, обращает внимание большое количество разнообразных моделей, описывающих один и тот же процесс. На первый взгляд такое обилие моделей надежности может свидетельствовать о хорошей теоретической и практической проработке данного вопроса.

3. Ранг моделей по критерию МСКО

Ранг	Модель	МСКО
1	Переходного процесса	13,37
2	Экспоненциальная Мусы	13,91
3	Простая экспоненциальная	13,93
4	Джеллинского- Моранды	17,15
5	Дюэна	22,40
6	Логарифмич. Мусы – Окумото	27,80
7	S-образного роста надежн. с перегибами	43,97
8	S-образного роста надежн.	57,02
9	Вейбулла	64,86
10	Шика – Волвертона	69,00
11	Геометрическая Моранды	71,20

Однако на самом деле ситуация прямо противоположная. Каждая из моделей ориентирована или на какой-то определенный класс программных систем, или на определенные условия их тестирования.

В настоящее время нет единой теории, описывающей надежность ПО. Каждая модель описывает один и тот же процесс – процесс проявления программных ошибок, но делает это только с одной стороны. Таким образом, большое число МНПС свидетельствует только о нашем непонимании процессов, связанных с возникновением и проявлением ошибок в программных системах.

Приблизиться к пониманию этих процессов позволяет модель [1], которая рассматривает процессы выявления ошибок в ПО как переходный процесс. Понятие переходного процесса свойственно всем системам – электрическим, механическим и даже социальным. Программным системам, как подмножеству систем вообще, также должны быть свойственны переходные процессы.

Распространение теории переходных процессов на программные системы позволяет использовать для моделирования надежности ПО весь наработанный в других областях математический и концептуальный аппарат.

С другой стороны, такой подход позволяет по-новому взглянуть на процесс возникновения и проявления ошибок именно в программных системах.

2. Результаты оценки количества программных ошибок, полученные с помощью различных моделей надежности ПС.

			Модели										
Ме- сяцы	Время работы, час.	Фактиче- ское ко- личество ошибок	Пере- ходного процесса	Джели- нского- Моран- ды	Шика- Волвер- тона	Экспо- нени- альная	Экспо- нени- альная Мусы	Геомет- рическая Моран- ды	Вейбул- ла	Дюэна	Лога- рифми- ческая Мусы – Окумото	S- образно- го роста надеж- ности	S- образно- го роста надеж- ности с переги- бами
1	800	8	8,01	8,07	8,06	8,01	7,95	13,09	14,77	8,00	7,38	2,00	8,00
2	1 600	6	6,64	6,65	6,50	6,55	6,51	10,47	7,52	5,73	6,35	4,52	2,81
3	2 400	6	5,51	5,48	5,24	5,36	5,34	6,28	5,06	4,71	5,58	5,47	2,63
4	3 200	4	4,57	4,51	4,23	4,39	4,37	4,54	3,82	4,10	4,98	5,53	2,45
5	4 000	3	3,79	3,72	3,41	3,59	3,58	3,59	3,08	3,69	4,49	5,13	2,29
6	4 800	6	3,15	3,06	2,75	2,93	2,94	1,72	2,58	3,38	4,09	4,53	2,13
7	5 600	3	2,61	2,52	2,22	2,40	2,40	1,27	2,22	3,13	3,76	3,86	1,98
8	6 400	2	2,16	2,08	1,79	1,96	1,97	1,07	1,95	2,94	3,47	3,21	1,85
9	7 200	1	1,80	1,71	1,44	1,61	1,61	1,03	1,73	2,78	3,23	2,62	1,72
10	8 000	0	1,49	1,41	1,16	1,31	1,32	1,15	1,56	2,64	3,02	2,11	1,59
11	8 800	2	1,24	1,16	0,94	1,08	1,08	0,93	1,43	2,52	2,83	1,68	1,48
12	9 600	1	1,03	0,96	0,76	0,88	0,89	0,87	1,31	2,42	2,67	1,33	1,37
Итого: суммарное количе- ство ошибок		42	42	41,33	38,5	40,07	39,96	46,01	47,03	46,04	51,85	41,99	30,3
критерий МСКО			13,3710	17,1468	68,9983	13,9287	13,9119	71,1959	64,8592	22,4036	27,8000	57,0200	43,9700
отклонения по суммарному коли- честву ошибок, %			0	-1,6	-8,3	-4,6	-4,86	+9,54	+11,98	+9,62	+23,45	-0,02	-27,85

В [1] показано, что процесс выявления ошибок в ПО фактически является переходным процессом в линейной системе первого порядка.

Как известно [3], причина возникновения переходных процессов во всех системах – невозможность мгновенного изменения энергетического состояния системы (закон коммутации). Из модели переходного процесса следует, что в программной системе закону коммутации подчиняется количество ошибок в ней. Это дает основание считать, что ошибки в программной системе являются ее энергетической характеристикой. Такой подход, основанный на аналогии математических уравнений позволяет привлечь для моделирования надежности программного обеспечения хорошо разработанные методы других наук. В частности, как это показано в [19], открывается возможность электро-технического моделирования процесса выявления ошибок. С другой стороны, энергетические свойства ошибок ПО позволяют действовать для их описания методы статистической термодинамики. Дальнейшее изучение процесса выявления ошибок должно осуществляться методами смежных естественных наук, что открывает новые, еще не исследованные возможности.

Список использованной литературы

1. Антошук С.Г. Прогнозирование количества ошибок на этапе эксплуатации адаптируемых учетных информационных систем. /С.Г.Антошук, Д.А.Маевский, С.А.Яремчук // Радиоэлектронные и компьютерные системы, НТЖ, Харьков: ХАИ. – 2010. – № 6(47) – С.204-209.
2. Благодатских В.А. Стандартизация разработки программных средств /Благодатских В.А., Воынин В.А., Посакалов К.Ф.: Уч. пособие под ред. О.С. Разумова // Финансы и статистика. – М.: – 2003, 284 с.
3. Гарднер М.Ф. Переходные процессы в линейных схемах с сосредоточенными постоянными /Гарднер М.Ф., Бэрнс Дж.Л // Пер. с англ.: Под ред. Г.И. Атабекова и Я.З. Ципкина: 2-е изд. – М.: Физматгиз.1961, – 551 с.
4. Моделирование гарантоспособных систем и сетей /Харченко В.С., Боярчук А.В., Куланов В.Н., Локазюк В.Н., Одарущенко О.Н., Поморова О.В., Фурманов А.А // Харьков: ХАИ. – 2008. – С.5-6.
5. Полонников Р.И. Методы оценки показателей надежности программного обеспечения /Полонников Р.И., Никандров А.В. //СПб.: Политехника. 1992, – 78 с.
6. Оценка качества и экспертиза программного обеспечения / Харченко В.С., Андрашов А.А., Гордеев А.А., Лобачева Е.И. // Харьков: ХАИ. 2008, – 99 с.
7. Avizienis A., Laprie J.C., Randell B., Landwehr C. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing // IEEE Trans. On Dependable and Secure Computing. – 2004.– Vol.1. P.11-33.
8. Duan J.T. Larning Curve Approach to Reliability Monitoring // IEEE Trans. on Aerospace. – 1964. – Vol.2. – P. 563-566.
9. Goel A.L. Software reliability models& Assumptions, Limitations and Applicability//IEEE Trans. – N 2.– P.1411–1423.
10. Haag S., Raja H.K., Sekade L.L. Quality Function Deployment. Usage in Software Development //Comm. of ACM. – 1998. – 39. – N1.
11. Levendel Y. Reliability analysis of large software systems: defect data modeling// IEEE transaction on SE. – 1990. – V.16. – N 2. – P. 141-152.
12. Moranda P.B. Probability-Based Models for the Failures During Burn – In Phase Joint National Meeting ORSA // Tims. – Las Vegas. – N.Y.: Nov., 1975.
13. Musa J.D. Validity of Execution time theory of software reliability // IEEE Trans. on reliability. – 1979. – № 3. – P.199-205.
14. Moranda P.B., Jelinski J. Final Report of Software Reliability Study. – McDonnell Douglas Astronautic Company. MDC Report № 63921. Dec. – 1972.
15. Musa J.D. Okumoto K. A Logarithmic Poisson Time Model for Software Reliability Measurement //Proc. Sevent International Conference on Software Engineering. – Orlando, Florida: – 1984. – P. 230-238.

16. Sukert C.A. An investigation of software reliability models // Proc. Annual Reliability and Maintainability Symp. – 1977, – P. 478-484.

17. Wolverson R.W., Shick C. J., Assessment of Software Reliability TRW-SS-73-04, September, 1972.

18. Yamada S., Ohba M., Osaki S. S-shaped software reliability grows modeling for software error detection //IEEE Trans. Reliability. – 1983. – R-32. – № 5. – P. 475-478.

19. Маєвський Д.А. Електричне моделювання процесу виявлення помилок в програмному забезпеченні інформаційних систем. // Сб. Електромашиностроение и электрооборудование. 2010, - Вып. 75, с. 113 – 116

Получено 09.07.2010



Маєвський
Дмитрий Андреевич,
канд. техн. наук, доц., зав.
каф. Теорет. основ и общ.
электротехн. Одес. нац.
политехн. у-та
тел. (048) 734-84-54



Яремчук
Светлана Александровна,
аспирантка, ст. пр. каф.
Информ. управл. систем и
технологий Измаильского
инст. Водн. трансп.,
г. Измаил, ул. Героев
Сталинграда 42/44,
тел.(04841) 2-02-80