

С.Г. Антощук, д-р техн. наук,  
Д.А. Маевский, канд. техн. наук,  
С.А. Яремчук

## ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ И ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

*Проведено аналіз експоненційних моделей надійності програмних засобів програмних систем з точки зору їх використання на різних етапах життєвого циклу. На основі проведеного аналізу показано можливість застосування розглянутих моделей як розробниками, так і кінцевими користувачами на етапах тестування і експлуатації програмних засобів.*

*Проведен анализ экспоненциальных моделей надежности программных систем с точки зрения применения их на разных этапах жизненного цикла. На основе проведенного анализа показана возможность применения рассмотренных моделей как разработчиками, так и конечными пользователями на этапах тестирования и эксплуатации программных средств.*

*The analysis of exponential models of reliability of the programming systems is executed from the point of view of application of them on the different stages of life cycle. On the basis of this analysis the degree of applicability of the considered models is deduced, by both developers and end users on the stages of testing and exploitation of programming tools.*

### 1. Общая постановка и актуальность задачи

Современный этап развития жизни общества немалозначим без применения различного рода информационных систем (ИС). Согласно [7], информационные системы – это человеко-машинные системы для поиска, сбора, накопления, хранения, передачи и обработки информации с использованием вычислительной техники, компьютерных информационных сетей, средств и каналов связи. Основной задачей ИС является удовлетворение конкретных информационных потребностей пользователей системы в рамках конкретной предметной области.

Понятие гарантоспособности (dependability) впервые предложили Альгирдас Авиженис и Жан-Клод Лапри [1]. Согласно разработанной ими концепции, гарантоспособность – “это свойство вычислительной системы, позволяющее обоснованно полагаться на выполнение услуг, для которых она предназначена”. Информационные системы функционируют в условиях действия различных внешних и внутренних факторов, приводящих к нарушению их работоспособности и целостности.

Комплекс свойств системы, способных противостоять этим факторам и обеспечить выполнение требуемых функций, которым можно оправданно доверять, называют гарантоспособностью [6]. Программное обеспечение – наиболее важная и неотъемлемая часть любой ИС. Под надежностью (reliability) программного обеспечения (ПО) понимается его способность безотказно выполнять определенные функции при заданных условиях в течение заданного периода времени с достаточно большой вероятностью [4].

Расчетные и прогнозные характеристики надежности программных средств (ПС) гарантоспособных ИС базируются на использовании более 30 априорных и апостериорных математических моделей надежности, разработка которых началась еще в 70-х годах прошлого столетия. Каждая модель надежности программных средств (МНПС) основывается на системе допущений и аналитических выражений характеристик надежности в зависимости от различных условий, среды эксплуатации, процессов внесения и исправления программных ошибок.

Выбор оптимальной модели надежности для практической ее оценки на всех этапах жизненного цикла ПС – очень важная, обширная и нерешенная пока задача. В настоящей статье рассматривается наиболее

широко применяемое подмножество моделей, в основу которых положено предположение об экспоненциальной зависимости интенсивности отказов ПС от времени. Эта проблема является актуальной потому, что ее решение способствует преодолению сложившегося противоречия между большим количеством моделей надежности и недостаточным количеством практических рекомендаций и методик по их применению для различных ПС на разных этапах его жизненного цикла.

## **2. Жизненные циклы программных средств**

Жизненный цикл ПС – это структура, состоящая из процессов, работ и задач, включающая в себя разработку, эксплуатацию и сопровождение ПС [2]. Ранний этап эксплуатации, на котором проявляются и устраняются не выявленные при тестировании ошибки ПО, назовем периодом опытной эксплуатации. Период, когда почти все программные ошибки выявлены и исправлены, их проявление возможно с низкой степенью вероятности. Этот период назовем этапом нормальной эксплуатации ПС. В работах различных исследователей [8–23] рассматривались вопросы создания и развития МНПС. Однако результаты, опубликованные в этих работах, не в полной мере обеспечивают необходимый уровень применимости и адекватности различных моделей надежности на этапе эксплуатации, учетом многообразия условий эксплуатации и сбора исходных экспериментальных данных, что требует разработки новых подходов к применению известных моделей.

## **3. Нерешенные проблемы и цели работы**

Несмотря на наличие значительного количества работ по отдельным аспектам проблемы, необходимо отметить ее недостаточную изученность в целом и в особенности, применительно к различным этапам жизненного цикла ПС. В работе [5] исследованы процессы прогнозирования дефектов на этапе разработки программных проектов. В данном исследовании были описаны и проанализированы девять МНПС: фазоориентированная, римской лаборатории воз-

душных сил, времени выполнения Мусы, Холстеда, фирмы IBM, Мак-Кейба, Гафнии, Липова, Акиямы. Сделаны выводы об их применимости на таких этапах жизненного цикла ПС, как подготовительный процесс разработки, формирование системных требований, формирование требований к ПО, разработка архитектурного проекта, разработка детального проекта, кодирование, модульное тестирование, интеграционное тестирование, системное тестирование. По мнению авторов [5], представленный обзор в соответствии с этапами жизненного цикла ПО не является исчерпывающим, требует расширения и уточнения.

В данной работе сделана попытка такого расширения перечня МНПС, путем добавления к этому списку других моделей, в которых сделано предположение об экспоненциальном характере закона изменения интенсивности отказов. Нам важно выяснить, насколько эти модели применимы конечными пользователями информационных систем, заинтересованными в независимой оценке надежности на всех этапах их эксплуатации. Получение такой оценки необходимо для того, чтобы избежать рисков, финансовых, временных и других потерь, связанных с ошибками ПО, а также для планирования оптимальной организации работы с программной системой.

В настоящей работе выполнен аналитический обзор МНПС и, на основе приемлемости допущений моделей, их преимуществ и недостатков, выявлена степень их сложности и применимости разработчиками и конечными пользователями на различных этапах жизненного цикла.

## **4. Аналитический обзор МНПС**

**4.1. Модель переходного процесса** [3] была предложена для оценки надежности именно ПС, а не исходила, как многие, из теории надежности радиоэлектронной аппаратуры. Исходными данными для анализа является нетрудоемкая по сбору временная статистика ошибок. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) все ошибки в ПС равно вероятны, не зависимы и имеют один и тот же порядок серьезности;

- 2) ошибки постоянно и немедленно устраняются без внесения новых;
- 3) ПО функционирует в среде, близкой к реальным условиям;
- 4) интенсивность отказов (ИО) уменьшается с течением времени и пропорциональна текущему количеству ошибок и интенсивности работы с ПС:

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

где  $R_0$  – количество потенциальных ошибок в ПО в начале эксплуатации;  $x$  – количество выполненных транзакций (обращений к ПО);  $q(x)$  – текущее количество найденных ошибок после выполнения транзакции с номером  $x$ ;  $f$  – частота транзакций (показатель интенсивности работы);  $S$  – сложность системы.

**Преимущества:** кроме высокой степени достоверности – наглядность и простота математических расчетов; никакие дополнительные данные о структуре ПО не требуются; модель отражает динамику процесса повышения надежности с достаточной точностью, накопление данных об ошибках дает повышение точности анализа; возможно развитие модели с точки зрения хорошо изученных переходных и термодинамических процессов.

**Недостатки:** модель не рассматривает различные источники и типы ошибок в ПС; первое и второе допущения модели одновременно являются ее ограничениями, так как редко выполняются на практике; нет дифференциации ошибок по типам; не учитывается внесение вторичных ошибок.

Этапы применимости. Модель применима на этапе тестирования и эксплуатации как разработчиками, так и конечными пользователями ПС.

**4.2. Модель Желинского – Моранды** предложена в работе [11]. Эта модель – одна из ранних классических моделей надежности, она исходила из теории надежности технических устройств, но оказалась вполне применимой для прогнозирования надежности ПС. Допущения модели и ее математическое выражение:

- 1) все ошибки в ПС одинаково вероятны, не зависимы и имеют один и тот же порядок серьезности;

- 2) ошибки постоянно и немедленно устраняются без внесения новых;
- 3) ПО функционирует в среде, близкой к реальным условиям;
- 4) время между отказами распределено по экспоненциальному закону
- 5) ИО остается постоянной до исправления очередной ошибки;
- 6) ИО пропорциональна текущему числу ошибок в программе

$$\lambda(t_i) = K(N_0 - i + 1), \quad (2)$$

где  $N_0$  – исходное неизвестное количество ошибок в ПО;  $i$  – порядковый номер ошибки,  $K$  – коэффициент пропорциональности.

**Преимущества:** простыми исходными данными являются порядковый номер ошибки и промежутки времени между ошибками; возможно прямое определение всех необходимых параметров, хотя эти расчеты весьма громоздки; для использования модели не требуется знание структурных характеристик ПС.

**Недостатки:** математическая сложность и громоздкость определения параметров модели, особенно при большой статистике ошибок или при длительном времени эксплуатации ПС; первое и второе допущения модели практически невыполнимы.

**Этапы применимости.** Модель применима разработчиками на этапах тестирования и эксплуатации. Модель менее применима конечными пользователями ПС из-за громоздкости расчетов используемых параметров.

**4.3. Модель Шумана** рассмотрена в работе [15] и также относится к ранним классическим моделям надежности. Модель использует экспоненциальное распределение времени между ошибками. Исходными данными являются общее число машинных команд, постоянное на этапе тестирования, число ошибок до начала тестирования, удельное число оставшихся и обнаруженных ошибок на одну машинную команду.

Допущения модели и ее математическое выражение:

- 1) тестирование проводится в несколько этапов. Выявленные ошибки регистрируются, но не исправляются. По завершении этапа исправляются все обнаруженные ошибки и проводится новый этап тестирования;

2) общее число команд в программе на машинном языке известно и постоянно;

3) периоды времени отладки и эксплуатации рассматриваются отдельно;

4) в начале испытаний число ошибок равно некоторой постоянной величине и по мере исправления ошибок становится меньше;

5) в ходе исправлений программы новые ошибки не вносятся;

6) по суммарному числу исправленных ошибок можно судить об оставшихся;

7) интенсивность отказов пропорциональна числу оставшихся ошибок

$$\lambda(t) = Ke(t), \quad (3)$$

где  $t$  – текущее время;  $K$  – коэффициент пропорциональности;  $e(t)$  – число остаточных ошибок в момент времени  $t$ , отнесенное к общему числу команд программы.

**Преимущества:** модель позволяет определить все необходимые параметры, не прибегая к другим моделям, что сокращает время расчета показателей надежности.

**Недостатки:** базовые понятия модели заимствованы из теории надежности аппаратных средств; второе допущение модели реально мало выполнимо – при исправлении ПС меняется число машинных команд, иногда довольно значительно; четвертое допущение не учитывает возможности внесения вторичных ошибок.

**Этапы применимости:** Возможно применение модели разработчиками как на этапе тестирования, так и на этапе эксплуатации. Модель не применима конечными пользователями ПС, не знающими число машинных команд на каждом этапе тестирования.

**4.4. Экспоненциальная модель** предложена в работе [10]. Исходными данными модели являются количество и моменты времени обнаружения ошибок. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) все ошибки в ПС одинаково вероятны, не зависимы, имеют один и тот же порядок серьезности;

2) ПО функционирует в среде, близкой к реальным условиям;

3) время между отказами распределено по экспоненциальному закону;

4) частота обнаружения ошибок и частота их исправления не равны, а связаны

некоторым коэффициентом пропорциональности  $K$ ;

5) время работы между ошибками определяется средним временем выполнения команды на данной ЭВМ;

6) интенсивность отказов остается постоянной до исправления очередной ошибки.

Выражение для текущего количества ошибок в системе имеет вид:

$$n_0 = N_0 \exp(-Kt), \quad (4)$$

где  $n_0$  – количество оставшихся ошибок;  $N_0$  – начальное количество ошибок;  $K$  – коэффициент пропорциональности.

**Преимущества:** авторы модели предлагают собственные математические выражения для определения первоначального количества ошибок и коэффициента пропорциональности. Данной модели не нужны структурные характеристики ПС. Модель допускает учет вторичных ошибок.

**Недостатки:** первое допущение модели является ее ограничением. При большом количестве статистических данных требуются громоздкие итерационные вычисления для определения параметров модели.

**Этапы применимости:** Модель применима в основном разработчиками на этапах тестирования. Применимость пользователями на этапе эксплуатации ограничена громоздкостью вычислений параметров модели.

**4.5. Экспоненциальная модель Мусы** предложена в работе [12]. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) модель учитывает два времени функционирования: время реальной работы процессора и календарное время с учетом простоя и исправления ошибок;

2) в процессе устранения ошибок могут быть внесены новые ошибки;

3) в процессе устранения ошибок могут быть выявлены и устранены еще не проявленные ошибки;

4) выражение для интенсивности отказов имеет вид

$$\lambda(t) = \frac{C}{T_0} \exp\left(-\frac{Ct}{N_0 T_0}\right), \quad (5)$$

где  $T_0$  – наработка между отказами перед началом отладки или эксплуатации;  $N_0$  – начальное число ошибок;  $C$  – коэффициент сжатия тестов, учитывающий, что при тести-

ровании ошибки ПС проявляются чаще, чем при эксплуатации.

**Преимущества:** модель выгодно отличается от предыдущих реалистичностью допущений; модели не нужны структурные характеристики ПС; математические выражения просты и могут применяться как разработчиками, так и пользователями.

**Недостатки:** модель не имеет собственного выражения для определения первоначального количества ошибок. Этот необходимый недостающий параметр следует определить экспертным путем из статистических данных похожих программных проектов либо рассчитать с помощью другой модели, что в целом затрудняет расчеты и увеличивает затраты времени на них.

**Этапы применимости:** Возможно применение модели разработчиками как на этапе тестирования, так и на этапе эксплуатации. Модель менее применима конечными пользователями ПС, которые не имеют статистических данных похожих программных проектов для экспертного определения первоначального количества ошибок.

**4.6. Модель Шнейдевинда** предложена в работе [14]. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) время тестирования и эксплуатации ПС делится на интервалы одинаковой длины;

2) число ошибок в данном интервале не зависит от числа ошибок в других интервалах;

3) число обнаруженных ошибок уменьшается от интервала к интервалу;

4) ИО пропорциональна числу имеющихся ошибок в данный момент времени;

Выражение ИО имеет следующий вид:

$$\lambda(t) = B \exp(-Ki), \quad (6)$$

где  $B$  – исходное число ошибок в ПС,  $K$  – неизвестный коэффициент пропорциональности;  $i$  – порядковый номер интервала тестирования.

**Преимущества:** модель была специально создана для определения надежности ПС, а не исходила из теории надежности аппаратуры, как другие ранние модели; применяемый математический аппарат прост и нагляден, не требует сложных или громоздких расчетов; модели не нужны структурные

особенности ПС. Все допущения модели, кроме третьего, вполне реалистичны.

**Недостатки:** третье допущение модели, которое не учитывает возможности внесения вторичных ошибок, является ее ограничением; для использования модели необходимо знание начального значения интенсивности отказов.

**Этапы применимости:** модель применима как разработчиками, так и пользователями на этапах тестирования и на этапе эксплуатации.

**4.7. Базовая S-образная модель** предложена в работе [16]. Она специально разработана для определения надежности ПС, а не исходила из теории надежности аппаратуры, как некоторые другие модели.

Допущения модели и ее математическое выражение:

1) ПС функционирует в среде, близкой к реальным условиям;

2) проявление ошибок в данной модели рассматривается как неоднородный пуассоновский процесс, проявление ошибок происходит независимо одна от другой;

3) новые ошибки в процессе исправлений не вносятся;

4) время между соседними ошибками зависит от времени предыдущих ошибок.

Выражение интенсивности отказов имеет следующий вид:

$$\lambda(t) = BK^2 t \exp(-Kt), \quad (7)$$

где  $B, K > 0$  – параметры модели.

**Преимущества:** математический аппарат не требует сложных или громоздких расчетов; для применения модели не требуется знание структурных особенностей ПС; все допущения модели, кроме третьего, вполне реалистичны.

**Недостатки:** третье допущение модели является ее ограничением, и на практике не выполнимо; модель не учитывает разную значимость ошибок.

**Этапы применимости:** модель применима разработчиками и конечными пользователями как на этапе тестирования, так и на этапе эксплуатации.

**4.8. Модель гиперэкспоненциальная S-образная** также предложена в работе [23]. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) все ошибки в ПС независимы, устраняются полностью, в процессе устранения новые ошибки не вносятся;

2) проявление ошибок в данной модели рассматривается как неоднородный пуассоновский процесс;

3) время между проявлением ошибки и устранением ее причины влияет на показатели надежности программной системы, им нельзя пренебречь;

4) отношение вероятности обнаружения ошибки к текущему числу дефектов постоянно;

5) отношение вероятности локальной ошибки к числу не локализованных дефектов постоянно;

б) ошибки ПС делятся на серьезные и тривиальные.

Аналитическое выражение для интенсивности отказов имеет вид:

$$\lambda(t) = a \sum_{i=1}^2 b_i^2 t \exp(-b_i t), \quad (8)$$

где  $a$  – начальное число ошибок в ПС;  $b_i$  – интенсивность устранения ошибок  $i$ -го класса.

**Преимущества:** модель специально создана для определения надежности ПС, а не исходила из теории надежности аппаратуры, как другие более ранние модели; возможно разделение и учет времени обнаружения и устранения дефекта, а также деление всех программных ошибок на несколько классов; для использования модели не нужно знание структурных особенностей ПС; все допущения модели, кроме невозможности учета внесения вторичных ошибок, вполне реалистичны.

**Недостатки:** входными данными модели являются разделенное на классы начальное количество ошибок ПС и интенсивности их устранения, которые необходимо определять по другим аналитическим выражениям модели, что усложняет расчеты и делает их более трудоемкими.

Этапы применимости: модель применена разработчиками, как на этапе тестирования, так и на этапе эксплуатации. Применимость конечными пользователями ограничена из-за трудностей определения интенсивности устранения ошибок разных классов.

**4.9. Модель Охба** предложена в работе [13]. Допущения модели и ее математическое выражение:

1) все ошибки в ПС взаимно независимы с точки зрения обнаружения;

2) временем между обнаружением и исправлением ошибки нельзя пренебречь;

3) отношение вероятности обнаружения ошибки к текущему числу ошибок постоянно;

4) отношение вероятности исправления ошибки к текущему числу не локализованных ошибок постоянно;

5) обнаруженная ошибка устраняется полностью, новые ошибки не вносятся.

Выражение интенсивности отказов имеет следующий вид:

$$\lambda(t) = ab^2 t \exp(-bt), \quad (9)$$

где  $a$  – начальное число дефектов в ПС;  $b$  – интенсивность удаления дефектов.

Данная модель представляет обобщение S-образной модели, рассмотренной выше. Это определяет ее преимущества, недостатки и этапы применимости на основе S-образной модели.

**4.10. Модель Гела-Окумото** предложена в работе [8]. Исходными данными модели являются количество периодов тестирования, кумулятивное время тестирования к концу конкретного периода, кумулятивное количество обнаруженных ошибок к концу периода.

Допущения модели и ее математическое выражение:

1) ошибки ПС взаимно независимы;

2) ИО в любой момент времени пропорциональна текущему числу ошибок в ПС, и эта пропорциональность постоянна;

3) обнаруженные дефекты устраняются немедленно.

Выражение для функции ошибок имеет следующий вид:

$$m(t) = \alpha(1 - e^{-bt}), \quad (10)$$

где  $\alpha$  – общее количество ошибок,  $b$  – параметр задающим скорость обнаружения ошибок.

**Преимущества:** данная модель относится к группе экспоненциальных и считается очень распространенной. Имеет дополнительный параметр для задания скорости обнаружения ошибок и позволяет его опреде-

лить. Считает число ошибок в ПС конечным и позволяет его определить. Модели не нужны структурные характеристики ПС. Модели не нужны расчеты параметров по другим моделям.

**Недостатки:** расчеты параметров модели усложнены при большом объеме статистических данных. Модель не учитывает ошибки различного типа.

**Этапы применимости:** модель применима в основном разработчиками, как на этапе тестирования, так и на этапе эксплуатации. Из-за трудностей с расчетом параметров, применение конечными пользователями проблематично.

**4.11. Модель гиперэкспоненциальная** предложена в работе [9]. Одна из более поздних моделей надежности, разработана изначально для оценки надежности ПС. Исходными данными модели являются различные классы дефектов, их весовые коэффициенты и интенсивность удаления дефектов.

Допущения модели и ее математическое выражение:

1) ПС тестируется в условиях, близких к реальным;

2) число выявленных на временном интервале дефектов пропорционально числу не выявленных дефектов;

3) ошибки независимы, новые дефекты не вносятся;

4) степень обнаружения дефектов равна константе между проявлениями дефектов;

5) суммарное число дефектов на временном интервале подчиняется пуассоновскому процессу;

6) дефекты ПС делятся на  $K$  классов, для каждого из которых предыдущие допущения применяются в отдельности.

Выражение для ИО имеет следующий вид:

$$\lambda(t) = \alpha \sum_{i=1}^k p_i b_i \exp(-b_i t), \quad (11)$$

где  $\alpha$  – начальное число дефектов в ПС;  $p_i$  – весовой коэффициент интенсивности обнаружения дефекта  $i$ -го класса  $\sum p_i = 1$ ;  $b_i$  – интенсивность удаления дефектов  $i$ -го класса.

**Преимущества:** одна из немногих моделей, учитывающих различные виды дефек-

тов (например программные и аппаратные). Модель не использует структурные особенности ПО. Разработана изначально для оценки надежности ПС.

**Недостатки:** требует экспертных знаний специалистов для деления дефектов на классы и определения весовых коэффициентов интенсивности обнаружения дефектов разных классов. Также необходимы дополнительные расчеты для определения интенсивности устранения дефектов различных классов, что в целом усложняет оценку надежности по этой модели, требует дополнительных временных и трудовых затрат.

Этапы применимости: применима разработчиками, как на этапе тестирования, так и на этапе эксплуатации. Модель не применима конечными пользователями ПС, для которых затруднено определение весовых коэффициентов ошибок различных классов, а также исходного числа ошибок в ПС.

**5. Выводы и направления дальнейших исследований.** Анализируя допущения рассмотренных моделей, можно сделать следующие выводы.

1) Часть моделей «перекочевала» в теорию надежности ПС из теории надежности аппаратуры, вследствие этого они являются менее применимыми с точки зрения специфичности ПС.

3) Прослеживается деление допущений на группы: с зависимыми и независимыми ошибками, с учетом и без учета вторичных дефектов, с одной или разными типами ошибок, конечным и бесконечным количеством ошибок, с зависимостью интенсивности проявления ошибок от различных факторов, с различными параметрами моделей.

Многообразие допущений позволит разработчикам и конечным пользователям подобрать наиболее подходящие допущения конкретного ПС.

Результаты анализа МНПС приведены в сводной таблице 1. Темные ячейки данной таблицы показывают большую степень применимости МНПС, светлые – меньшую степень применимости конкретной модели на данном этапе ЖЦ. Под этапами ЖЦ ПО подразумеваются: 1 – системное тестирование, 2 – опытная эксплуатация, 3 – нормальная экс-

плуатация разработчиками, 4 – опытная эксплуатация, 5 – нормальная эксплуатация конечными пользователями ПС.

Таблица 1.  
Применимость МНПС на различных этапах жизненного цикла.

Название модели	Этапы ЖЦ ПС				
	1	2	3	4	5
1. Модель переходного процесса					
2. Модель Джелинского – Моранды					
3. Модель Шумана					
4. Экспоненциальная модель					
5. Экспоненциальная модель Мусы					
6. Модель Шнейдевинда					
7. Модель базовая S-образная					
8. Модель гиперэкспоненциальная S-образная					
9. Модель Охба					
10. Модель Гела-Окумото					
11. Модель гиперэкспоненциальная					

Общий анализ моделей надежности показал, что среди рассмотренных моделей по схожим характеристикам допущений и аналитическим выражениям явно прослеживаются несколько групп: группа экспоненциальных моделей, геометрических, S-образных. Внутри этих групп наблюдается системность допущений и аналитических выражений моделей.

Немногие модели допускают учет ошибок разных классов (программные и аппаратные, например), и разной степени серьезности (фатальные, тривиальные). Не многие модели учитывают языковое представление ПС. Расчет по моделям надежности бывает не всегда возможным по причине большого количества трудно оцениваемых параметров моделей. Особенности трудности в оценке надежности возникают у конечных пользователей ПС, не знакомых со средствами компьютерной математики. Получаемые оценки надежности по разным моделям имеют разную степень адекватности эксперименталь-

ным данным, а это, в свою очередь, требует дополнительных расчетов по выбору наиболее адекватной модели.

Результаты, полученные в данной работе, создают теоретическую основу для выбора моделей надежности, направленных на эффективную оценку надежности программных средств на всех этапах жизненного цикла программного обеспечения. Анализ моделей и сводная таблица степени применимости моделей имеют практическую ценность, позволяющую как разработчикам, так и конечным пользователям быстро и правильно выбирать оптимальную и адекватную на сегодняшний момент модель для оценки надежности ПО гарантоспособных систем.

#### Список использованной литературы

1. Авиженис А.Н. Гарантоспособные вычисления: от идеи до реализации в проектах /А.Н. Авиженис, Ж.-К.Лапри //ГИИЭР. – 1986. – Т. 74.– № 5.– С.8-21.
2. ДСТУ 3918-1999 (ISO/IEC 12207). Інформаційні технології. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення.- введ.01.07.2000. –К.: Держстандарт України, 2000. – 49 с.
3. Маевский Д.А.Прогнозирование количества ошибок на этапе эксплуатации адаптируемых учетных информационных систем / С.Г. Антощук, Д.А.Маевский, С.А.Яремчук // Радиоэлектронные и компьютерные системы, НТЖ, Харьков: ХАИ. – 2010. – № 6(47). – 204. – 209 с.
4. Промыслов В.Г. Оценка надежности программного обеспечения на различных этапах жизненного цикла различных программ / В.Г. Промыслов, А.В. Антонов, С.И. Масолкин, А.С. Степанянц // Тр. V международн. Конференц. «Идентификация систем и задачи управления» SCIPRO'06. Москва, 30 января – 2 февраля 2006 г. – М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.– 2006. – С. 1300-1304.
5. Харченко В.С. Оценка качества и экспертиза программного обеспечения /А.А.Андрашов,А.А.Гордеев,Е.И.Лобачева, В.С.Харченко // Практикум. Харьков: ХАИ. – 2008. – С.40-49.



6. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии / Харченко В.С. //Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006.– Вип.5(17). – С.7-19.

7. Яндекс – словари, [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://slovari.yandex.ru/~книги/Экономический%20словарь/Автоматизированные % 20информационные системы/](http://slovari.yandex.ru/~книги/Экономический%20словарь/Автоматизированные%20информационные%20системы/).

8. Amrit L. Goel, "Software reliability models: Assumptions, limitations, and applicability //IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. SE-11, № 12. – 1985. –P. 1411-1423.

9. Laprie J.C. Dependability Evaluation of Software Systems in Operation. IEEE Trans. Software Eng., Vol.10, No.6, 1984. P.701–714.

10. Levendel Y. Reliability analysis of large software systems: defect data modeling, // IEEE transaction on SE. 1990. v.16. N 2. P. 141–152.

11. Moranda P.B., Jelinski J. Final Report of Software Reliability Study. – McDonnell Douglas Astronautic Company // MDC Report № 63921. Dec. 1972.

12. Musa J.D. Validity of Execution time theory of software reliability // IEEE Trans. on reliability. – 1979. – № 3. – P.199-205.

13. Ohba M. Software Reliability Analysis Models // IBM J.Res.Develop. –1984. – 28. – № 4. – P.428-243.

14. Schneidewind N.F. Analysis of Error Processes in Computer Software / N.F. Schneidewind // Sigplan Not. – 1975. – Vol. 10, N 6. – P. 337-346.

15. Shooman M.L. Operational Testing and Software Reliability Estimation during Program Development, 1973 // IEEE Symposium on Computer Software Reliability, IEEE, New York, 1973, p.51–57.

16. Yamada S., Ohba M., Osaki S. S-shaped software reliability grows modeling for software error detection // IEEE Trans. Reliability. – 1983. – R–32. – № 5. – P. 475-518.



Антощук  
Светлана Григорьевна,  
д-р техн. наук, профессор  
директор Ин-та компьютерн.  
систем, зав. каф.  
Информационных систем  
Одесск. нац. политехн.  
ун-та т.(048) 7348-584  
asg@ics.opu.ua



Маевский  
Дмитрий Андреевич, канд.  
техн. наук, доц., зав. каф.  
Теорет. основ и общ. элек-  
тротехн. Одес. политехн.  
у-та, пр-т Шевченко, 1,  
тел. (048) 734-84-54



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

Получено 22.10.2010