

УДК 004.519.217

О.Н. ОДАРУЩЕНКО<sup>1</sup>, А.А. РУДЕНКО<sup>1</sup>, В.С. ХАРЧЕНКО<sup>2</sup><sup>1</sup> *Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Украина*<sup>2</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ ВТОРИЧНЫХ ДЕФЕКТОВ

*Предлагается последовательность оценки надежности программных средств с учетом вторичных дефектов. Обоснован выбор модели оценки надежности программных средств с учетом вторичных дефектов. Показана взаимосвязь между эмпирической и теоретической составляющими процесса оценивания. Предлагается подход, сочетающий использование модифицированной модели Джелинско-Моранды и элементов корреляционного анализа для обработки статистических данных дефектов. Данный метод позволяет более точно определить интенсивность проявления дефектов и, как следствие, другие показатели надежности.*

**Ключевые слова:** программные средства, модели оценки надежности программных средств, вторичный дефект, модифицированная модель Джелинского-Моранды

### Введение

Оценка надежности программных средств (ПС) является одной из наиболее важных задач, возникающих при их разработке и верификации. Одним из подходов к решению этой задачи является количественный подход, использующий разнообразные модели оценки и предсказания надежности ПС (МНПС).

Главная проблема при использовании МНПС – нахождение оптимального сочетания между системой допущений, принятой для соответствующей модели и ее адекватности оцениваемым ПС, и уровнем сложности математического аппарата, с помощью которого находятся необходимые параметры модели. Увеличение числа допущений упрощает математическую модель, однако приводит к менее точному отображению реалий проектирования, верификации и сопровождения ПС или их игнорированию вообще, с другой стороны, уменьшение числа допущений усложняет математическую модель, зачастую делая ее неразрешимой относительно искомых параметров.

Многие модели содержат допущение о том, что в процессе устранения обнаруженных (первичных) дефектов новые (вторичные) не вносятся [1]. Однако анализ эксплуатации обслуживаемых компьютерных систем, а также, мнение специалистов свидетельствуют о том, что вторичные дефекты вносятся, вследствие чего изменяются показатели надежности ПС [2-4].

Существуют два подхода в вопросе учета вторичных дефектов ПС [4, 5]. Они отличаются тем, что в первом случае разрабатываются новые модели на основе разрабатываемой теории динамики про-

граммных систем, а во втором – предпринимаются попытки модификации известных МНПС.

**Цель** статьи – предложить метод оценки надежности ПС с учетом вторичных дефектов используя подход, основанный на модификации вероятностных МНПС [5].

### 1. Этапы оценки надежности ПС

Метод оценки надежности ПС с учетом вторичных дефектов включает следующие этапы:

- разработка и анализ сценариев процессов обслуживания ПС с учетом фактора внесения вторичных дефектов;
- анализ известных МНПС на предмет возможности определения числа внесенных дефектов и обоснование на его основе выбора модели оценки надежности ПС;
- разработка метода прогнозирования вторичных дефектов по статистическим данным;
- получение значений функции риска на основе модифицированной модели.

#### 1.1. Разработка и анализ сценариев процессов обслуживания ПС с учетом фактора вторичных дефектов

Существует классификация вторичных дефектов [7]:

- дефекты, вносимые в процессе устранения первичных дефектов;
- дефекты, вносимые при обновлении (в той части ПС, которая обновляется – «условно вторичные дефекты»);

– дефекты взаимодействия первичной и обновленной частей ПС.

Исходя из данной классификации путем перебора возможных вариантов построено множество из восьми возможных сценариев устранения и внесения дефектов (1), в котором учтены следующие параметры (процессы): обнаружение дефектов (обнаружение отклонения ПС от спецификации), устранение дефектов (изъятия дефектных элементов ПС), внесение дефектов, неустранение обнаруженных дефектов [7].

$$M_i = \begin{cases} N_{\Sigma} - N_i, \\ N_{\Sigma} - N_i + K_i, \\ N_{\Sigma} - N_i + \Delta N_i, \\ N_{\Sigma} - N_i + K_i + \Delta N_i, \\ N_{\Sigma} - N_i + K_i^*, \\ N_{\Sigma} - N_i + K_i^* + \Delta N_i, \\ N_{\Sigma} - N_i + K_i^* + K_i^B, \\ N_{\Sigma} - N_i + K_i^* + K_i^B + \Delta N_i, \end{cases} \quad (1)$$

где  $M_i$  – число дефектов после  $i$ -й операции по устранению выявленных дефектов;

$N_{\Sigma}$  – число дефектов в исходной программе;

$N_i$  – число обнаруженных дефектов;

$K_i$  – число дефектов, внесенных в процессе устранения обнаруженных дефектов;

$\Delta N_i$  – число неустраненных дефектов (из числа выявленных);

$K_i^*$  – число дефектов, внесенных в процессе обновления программы;

$K_i^B$  – число дефектов, связанных с взаимодействием первичной и обновленной частей программного обеспечения.

Учитывая однотипность ряда сценариев системе (1) можно упростить следующим образом:

$$M_i = \begin{cases} N_{\Sigma} - N_i, \\ N_{\Sigma} - N_i + K_i', & N_i > K_i', \\ N_{\Sigma} - N_i + \Delta N_i, & N_i > \Delta N_i, \\ N_{\Sigma} - N_i + K_i' + \Delta N_i, & N_i > K_i' + \Delta N_i, \end{cases} \quad (2)$$

где  $K_i'$  – число внесенных дефектов, независимо от характера их внесения.

Исходя из проведенного анализа базовым следует выбрать сценарий

$$M_i = N_{\Sigma} - N_i + K_i, \quad N_i > K_i. \quad (3)$$

Кроме того, выбор базового сценария продиктован возможностью приведения к нему сценариев (4)-(8).

$$M_i = N_{\Sigma} - N_i + K_i + \Delta N_i, \quad (4)$$

$$M_i = N_{\Sigma} - N_i + K_i^*, \quad (5)$$

$$M_i = N_{\Sigma} - N_i + K_i^* + \Delta N_i, \quad (6)$$

$$M_i = N_{\Sigma} - N_i + K_i^* + K_i^B, \quad (7)$$

$$M_i = N_{\Sigma} - N_i + K_i^* + K_i^B + \Delta N_i. \quad (8)$$

Очевидно, что представляют интерес сценарии, в которых число исправленных первичных дефектов больше суммарного числа вторичных и неустраненных обнаруженных дефектов, поскольку конечной целью есть полное устранение дефектов. Иначе накопление дефектов может привести к отказу системы или существенному снижению ее готовности. Случай равенства параметров обнаружения и суммарного количества параметров внесения и неустранения дефектов также не представляет интереса, поскольку не характеризуют процесс изменения состояний обслуживаемых компьютерных систем.

## 1.2. Анализ МНПС на предмет возможности определения числа внесенных дефектов. Обоснование выбора модели

Анализ моделей надежности на предмет возможности определения числа внесенных дефектов производился исходя из наличия в них параметра, характеризующего интенсивность проявления дефектов (функции риска). Модели модифицировались путем прибавления в функции риска величины  $n^{BH}$  (числа вторичных дефектов). Далее определялась возможность нахождения параметров модели с учетом величины  $n^{BH}$  [5].

По степени возможности использования с учетом вторичных дефектов модели классифицированы следующим образом:

- возможно (Джелинского-Моранды, простая экспоненциальная модель);
- возможно, однако процесс получения параметров является сложным (Шика-Уолвертона, Липова);
- затруднительно или невозможно (Шнайдевинда);
- невозможно (геометрические модели).

Выявлены недостатки моделей для использования их при учете вторичных дефектов, то есть допущений, ограничивающих их применение:

- возникновение на рассматриваемом интервале более одного дефекта, что приводит к появлению дополнительной величины и, как следствие, усложнению задачи;
- неограниченность общего числа дефектов;
- структура функции риска, не позволяющая ввести величину  $n^{BH}$ ;
- предположение о разной степени влиянии на процесс предсказания дефектов их появления в разное время.

Проанализированы МНПС Джелинского-Моранды, простая экспоненциальная модель, модели Шика-Уолвертона и Липова на предмет возможности их использования при условии учета недетер-

минированного числа вторичных дефектов ПС [6].

Доказана возможность нахождения распределения числа вторичных дефектов для перечисленных моделей при комплексировании по входным данным с моделями других классификационных признаков.

На основе анализа допущений, принятых для модифицированных моделей Джелинского-Моранды и простой экспоненциальной модели получена объединенная модель, теоретически позволяющая получить последовательность числа вторичных дефектов.

Выбор модели Джелинского-Моранды для оценки надежности ПС с учетом вторичных дефектов продиктован тем, что данная модель имеет по сравнению с другими меньше ограничений и является достаточно простой в использовании.

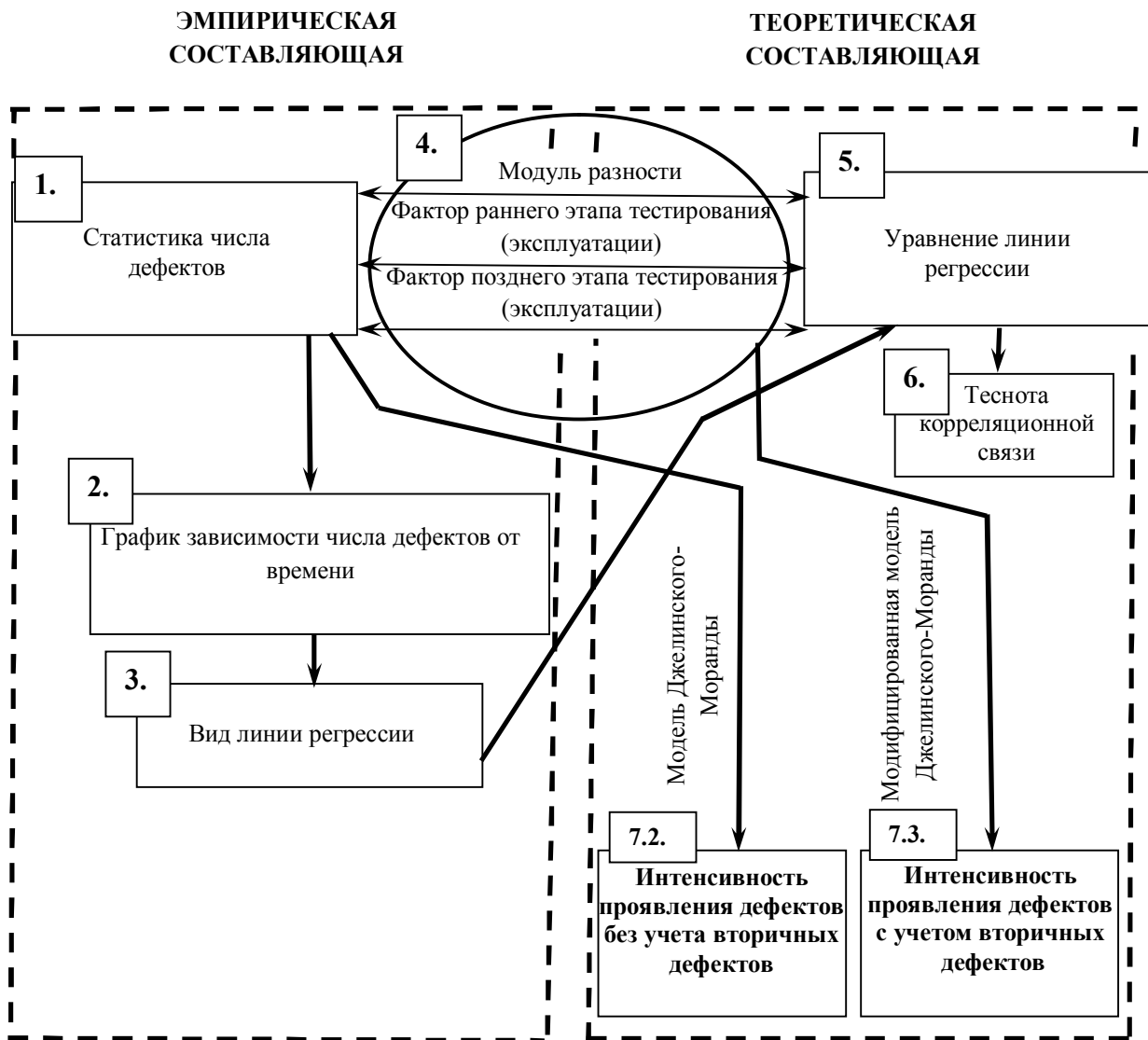


Рис. 1. Структурная схема оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов

### 1.3. Разработка метода прогнозирования вторичных дефектов по статистическим данным

Далее необходимо учесть два обстоятельства. Во-первых, непосредственное нахождение распределения числа вторичных дефектов на основании вышерассмотренных модифицированных МНПС невозможно без комплексирования по входным данным с моделями других групп. Во-вторых, получение данного распределения на основе объединенной модифицированной простой экспоненциальной модели и модифицированной модели Джелинского-Моранды весьма затруднительно. В связи с этим дальнейшее исследование направлено на разработку метода прогнозирования вторичных дефектов по статистическим данным.

Обработка экспериментальных данных обнаружения дефектов проводится в следующей последовательности:

- строится график зависимости числа обнаруженных дефектов от времени;
- эмпирическим путем определяется вид линии регрессии;
- находится уравнение линии регрессии;
- вычисляется модуль разности между значением статистики дефектов и значением функции регрессии в моменты определения статистики дефектов;
- число вторичных дефектов находится как разность результата, полученного на предыдущем этапе и среднего квадратического отклонения по статистике числа дефектов, умноженного на коэффициент  $\frac{1}{n+1-x}$ , где  $n$  – число интервалов тестирования (число обнаруженных дефектов),  $x$  – порядковый номер интервала (обнаруженного дефекта).
- результат округляется до целых.

Введение коэффициента  $\frac{1}{n+1-x}$  обусловлено большей вероятностью внесения вторичных дефектов на начальных этапах тестирования (эксплуатации) ПС.

На основе статистических данных и модифицированной модели Джелинского-Моранды получаем интенсивности проявления дефектов с учетом вторичных дефектов.

## 2. Взаимосвязь эмпирической и теоретической составляющих процесса оценивания

Процесс оценивания содержит две составляющих – эмпирическую и теоретическую (рис. 1). Эмпирическая – базируется на статистике дефектов,

определении вида линии регрессии; теоретическая – на уравнении линии регрессии, модели Джелинского-Моранды, ее модифицированном варианте (ММДМ).

В качестве исходных данных используется статистика числа дефектов, содержащая временные интервалы эксплуатации ПС и число дефектов, обнаруженных на каждом из них.

На основе исходных данных строится график зависимости числа дефектов от времени, который, как правило, позволяет эмпирическим путем определить вид линии регрессии.

Используя метод наименьших квадратов, находится уравнение линии регрессии, выборочный коэффициент корреляции, который показывает тесноту корреляционной связи (чем его значение по модулю ближе к единице, тем связь более тесная). Отрицательное значение выборочного коэффициента корреляции показывает, что с увеличением одного параметра (в нашем случае времени) уменьшается другой (число обнаруженных дефектов).

Несмотря на то, что выборочный коэффициент корреляции характеризует линейную зависимость между параметрами, для рассмотренных статистик числа дефектов вид линии регрессии достаточно точно определялся эмпирически. В случаях, когда это сделать трудно, линия регрессии выбирается исходя из расчета меньшей погрешности

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\dot{Y}_i - Y_i)^2}, \quad (9)$$

где  $n$  – объем выборки,  $\dot{Y}_i$  – теоретическое значение числа дефектов в момент времени  $i$ ,  $Y_i$  – соответствующее эмпирическое значение [11].

Исследования статистических данных числа дефектов разных учетно-информационных систем (УИС) [8-10] показали, что существует обратно пропорциональная зависимость между порядковым номером временного интервала эксплуатации и числом дефектов, обнаруженных на соответствующем временном интервале. Подтверждением обратно пропорциональной зависимости есть значение выборочного коэффициента корреляции (от – 0,95 до – 0,88) для разных УИС.

На основе сравнения статистики дефектов и полученного уравнения линии регрессии определяется число вторичных дефектов (порядок описан в п. 1.3). При этом учитываются факторы раннего и позднего этапа тестирования (эксплуатации). Фактор раннего учитывается путем введения коэффициента  $\frac{1}{n+1-x}$ . Фактор позднего этапа тестирования (эксплуатации) за счет того, что не учитываются вторичные дефекты, как правило, на последних ин-

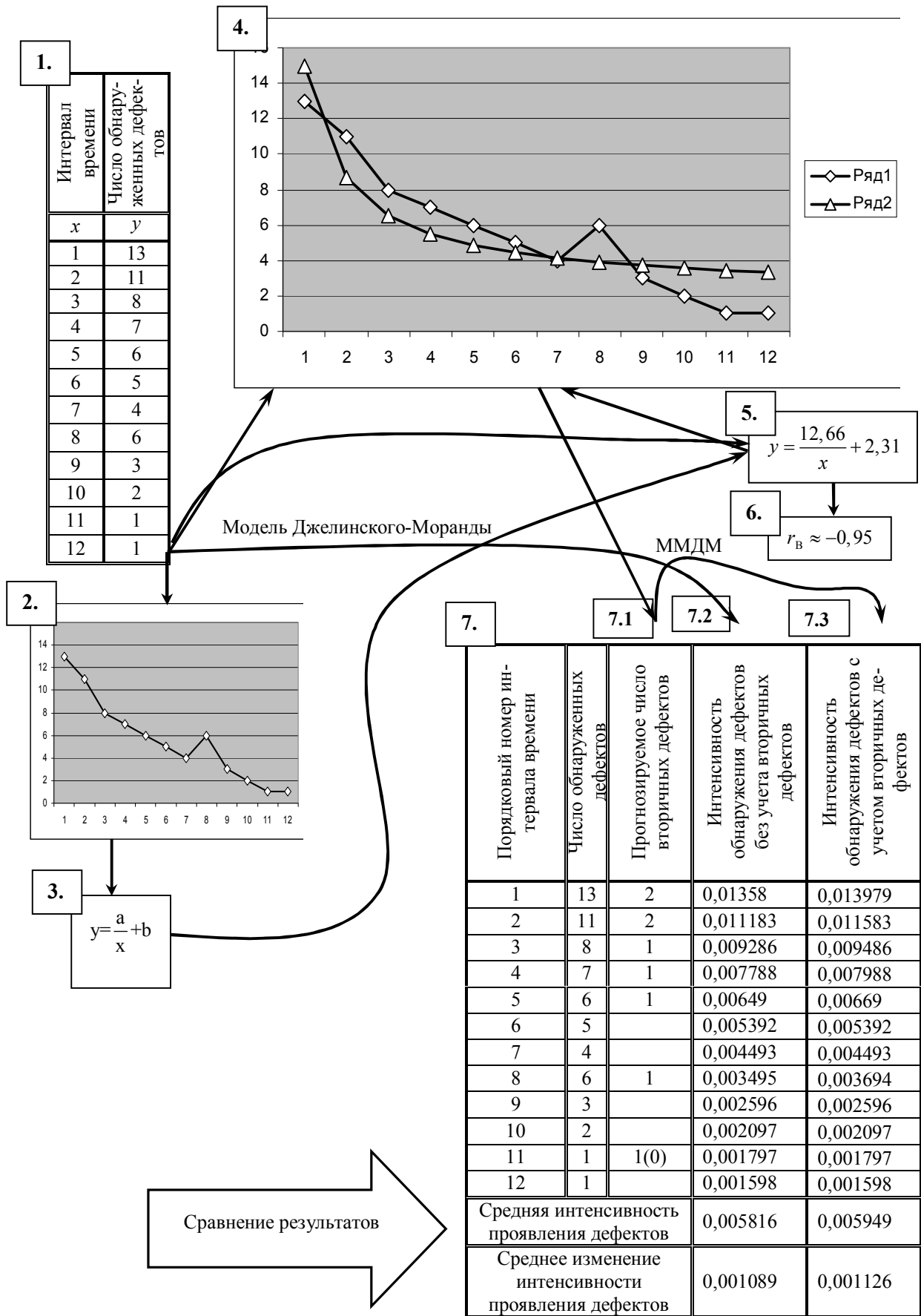


Рис. 2. Пример использования метода оценивания надежности ПС с учетом вторичных дефектов

тервалах тестирования (эксплуатации) ПС, если прогнозирование вторичных дефектов получается при значении функции регрессии больше, чем соответствующее эмпирическое значение.

Спрогнозированное число вторичных дефектов учитывается при определении интенсивности проявления дефектов с помощью ММДМ. Для оценки точности вычисляется интенсивность проявления дефектов по статистическим данным с использованием модели Джелинского-Моранды и сравнивается с результатами ММДМ.

На рис. 2 показана последовательность использования метода оценивания надежности ПС с учетом вторичных дефектов. В качестве исходных данных (1.) взята статистика дефектов УИС, которая использовалась в малом государственном предприятии «Лайф» г. Измаила за первый год эксплуатации [8]. На основе (1.) построен график зависимости числа обнаруженных дефектов за интервал времени (ось ординат) от времени эксплуатации (ось абсцисс) (2.). По виду графика (2.) эмпирическим путем определен вид линии регрессии (3.). Используя метод наименьших квадратов по статистике (1.), учитывая вид линии регрессии (3.), найдено уравнение (5.). С целью проверки тесноты корреляционной связи находим выборочный коэффициент корреляции (6.). Следующий этап (4.) – сравнение эмпирических результатов (1.) и теоретических (5.) в моменты времени  $x$ , с целью прогнозирования вторичных дефектов (7.1), используя формулу

$$\delta = \left| y - \frac{a}{x} - b \right| - \frac{1}{n+1-x} \sigma_y, \quad (10)$$

где  $y$  – опытное число обнаруженных дефектов за интервал времени,  $x$  – порядковый номер интервала времени,  $a$ ,  $b$  – коэффициенты уравнения линии регрессии,  $n$  – число интервалов времени,  $\sigma_y$  – среднее квадратическое отклонение по  $y$ ,  $\delta$  – искомая величина отклонения. Расчет производится следующим образом: величина  $\delta > 0$ , округленная до целых, показывает прогнозируемое число вторичных дефектов.

Как отмечалось выше, коэффициент  $\frac{1}{n+1-x}$  характеризует фактор раннего этапа тестирования (эксплуатации); фактор позднего этапа тестирования (эксплуатации) показан в случае при  $x=11$ , когда вторичный дефект прогнозируется, однако не учитывается ввиду того, что получен при теоретическом значении больше соответствующего эмпирического.

С учетом (7.1), используя ММДМ, получаем (7.3); по статистике (1.), используя модель Джелин-

ского-Моранды, получаем (7.2). Сравниваем результаты (7.2) и (7.3)

На рис. 1 и 2 соответствующие этапы последовательности метода оценивания обозначены одинаковыми цифрами.

## Выводы

Особенностью предложенного метода оценки надежности ПС является комплексное использование модифицированной модели Джелинского-Моранды и корреляционного анализа для обработки статистических данных дефектов.

Данный метод позволяет более точно определить интенсивность проявления дефектов и, как следствие, другие показатели надежности.

Полученная модель может быть использована для оценивания и исследования готовности обслуживаемых компьютерных систем с обновляемыми ПС, когда в процессе обновления, в том числе и связанного с расширением его функциональности и увеличением сложности, может быть получен класс модифицированных МНПС, чувствительных к параметру сложности. В этом случае фактор вторичных дефектов может быть учтен через пропорциональное изменение «нового» числа первичных дефектов или путем развития подхода, описанного в данной работе с учетом фактора изменения сложности.

## Литература

1. Lyu, M.R. *Software Fault Tolerance*. [Text] / M.R. Lyu // Chichester, England: John Wiley and Sons, Inc., 1995. – P. 109-138.
2. Sanders, J. *Software Quality – A Framework for Success in Software Development and Support* [Text] / J. Sanders. – USA: Addis. Wesley, 1994. – 112 p.
3. Канер, С. *Тестирование программного обеспечения* [Текст] / С. Канер, Д. Фолк, Е.К. Нгуен. – М.: DiaSoft, 2001. – 544 с.
4. Маєвський, Д.А. *Структурна динаміка програмних систем та прогнозування їх надійності при наявності вторинних дефектів*. [Текст] / Д.А. Маєвський // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – №.3. – С. 103-109.
5. Одаруценко, О.Н. *Учет вторичных дефектов в моделях надежности программных средств*. [Текст] / О.Н. Одаруценко, А.А. Руденко, В.С. Харченко // *Математичні машини і системи*. – 2010. – № 1. – С. 205-217.
6. Руденко, А.А. *Модели оценки надежности программных средств с учетом недетерминированного числа вторичных дефектов*. [Текст] / А.А. Руденко, О.Н. Одаруценко, В.С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 6 (47). – С. 197-203.

7. Анализ сценариев и определение параметров для оценки надежности программных средств с учетом вторичных дефектов. [Текст] / В.С. Харченко, О.Н. Одарущенко, А.А. Руденко, Е.Б. Одарущенко // Системы управления, навигации та зв'язку. – 2011. – Вып. 2 (18). – С. 273-280.

8. Антошук, С.Г. Прогнозирование количества ошибок на этапе эксплуатации адаптируемых учетных информационных систем. [Текст] / С.Г. Антошук, Д.А. Маевский, С.А. Яремчук // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 6 (47). – С. 204-210.

9. Маевский, Д.А. Анализ моделей надежности программного обеспечения гарантированных ин-

формационных систем. [Текст] / Д.А. Маевский, С.А. Яремчук // Електромашинобудування та електрообладнання, МНТЖ, Одеса, ОНПУ, 2010. – К.: Техніка, 2010. – № 76. – С. 68-79.

10. Маевский, Д.А. Сравнительный анализ моделей надежности программного обеспечения на этапе эксплуатации. [Текст] / Д.А. Маевский, С.А. Яремчук // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – Вып. 1 (35). – С. 82-86.

11. Калинина, В.Н. Математическая статистика. [Текст] / В.Н. Калинина, В.Ф. Панкин. – М.: Дрофа, 2002. – 336 с.

Поступила в редакцию 23.02.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры В.А. Краснобаев, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков, Украина.

### МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ З УРАХУВАННЯМ ВТОРИННИХ ДЕФЕКТІВ

*О.М. Одарущенко, О.А. Руденко, В.С. Харченко*

Пропонується послідовність оцінки надійності програмних засобів з урахуванням вторинних дефектів. Обґрунтовано вибір моделі оцінки надійності програмних засобів з урахуванням вторинних дефектів. Показано взаємозв'язок між емпіричною та теоретичною складовими процесу оцінювання. Запропоновано підхід, що поєднує використання модифікованої моделі Джелінського-Моранди та елементів кореляційного аналізу для обробки статистичних даних дефектів. Цей метод дозволяє більш точно визначити інтенсивність прояву дефектів і, як наслідок, інші показники надійності.

**Ключові слова:** програмні засоби, моделі оцінки надійності програмних засобів, вторинний дефект, модифікована модель Джелінського-Моранди

### METHOD OF SOFTWARE RELIABILITY ESTIMATION TAKING INTO ACCOUNT SECONDARY FAULTS

*O.N. Odarushchenko, O.A. Rudenko, V.S. Kharchenko*

The sequence estimation of software reliability estimation based on accounting secondary faults is suggested. The choice of software reliability model taking into account the secondary faults is grounded. The correlation between the empiric and theoretical components of the assesment is shown. An approach which combines the use of the modified Dzhelinski-Moranda's model and technique of the correlation analysis for statistical data processing defects is proposed. This method allows to define more precisely the intensity of display defects, and as a consequence, other indicators of reliability.

**Keywords:** software reliability estimation, secondary software faults, modified Dzhelinski-Moranda model

**Одарущенко Олег Николаевич** – канд. техн. наук, доц., декан факультета информационных и телекоммуникационных технологий и систем Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина, e-mail: skifs2005@mail.ru.

**Руденко Александр Антонович** – ст. преподаватель каф. компьютерных и информационных технологий и систем Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина, e-mail: olekrudenko@yandex.ru

**Харченко Вячеслав Сергеевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: v.kharchenko@khai.edu.