

УДК 004.043

МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ ДИНАМИКИ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ТЕОРИИ НАДЁЖНОСТИ ПРОГРАМНЫХ СИСТЕМ

В. О. Мищенко

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина. E-mail: mischenko@univer.karkov.ua

С целью более реалистичного прогноза динамики обнаружения и исправления дефектов программных систем, актуальной становится задача выяснения возможностей математической модели процессов исправления, которые получили название динамики дефектов второго порядка. Эта модель, в частности, учитывает образование новых дефектов при исправлении прежних. Однако, наблюдение и статистическое описание характеристик реальных процессов обнаружения/исправления дефектов программных систем, которые связаны со вторичными дефектами, весьма затруднено на практике. Это препятствует верификации динамики дефектов второго порядка на основе экспериментальных данных. В данной статье развита концепция верификации данной модели на основе вычислительных экспериментов. Обоснован метод, который позволяет, задавшись определёнными уровнями значимости, выяснить, адекватна ли и точна ли динамика второго порядка по отношению к виртуальным системам, специально созданным для генерации процессов обнаружения-исправления дефектов на этих уровнях. Построенные виртуальные системы приводят к процессам, в определённой степени сходным с реальными процессами обнаружения-исправления дефектов в программных системах.

Ключевые слова: надёжность программных систем вторичные дефекты, динамика дефектов второго порядка, вычислительный эксперимент.

МЕТОД ВЕРИФІКАЦІЇ ДИНАМІКИ ДРУГОГО ПОРЯДКУ В ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

В. О. Міщенко

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна. E-mail: mischenko@univer.karkov.ua

З метою більш реалістичного прогнозу динаміки виявлення і виправлення дефектів програмних систем, актуальною є задача з'ясування можливостей математичної моделі процесів виправлення, що отримала назву динаміки дефектів другого порядку. Ця модель, зокрема, враховує появу нових дефектів при виправленні попередніх. Однак спостереження і статистичний опис характеристик реальних процесів виявлення/виправлення дефектів програмних систем, які пов'язані із вторинними дефектами, на практиці досить складно. Це перешкоджає верифікації динаміки дефектів другого порядку на основі експериментальних даних. У даній статті розвинена концепція верифікації даної моделі на основі обчислювальних експериментів. Обґрунтований метод, дозволяє для заданих рівнів значущості, з'ясувати адекватність і точність динаміки другого порядку по відношенню до віртуальних систем, спеціально створених для генерації процесів виявлення-виправлення дефектів за цими рівнями. Побудовані віртуальні системи призводять до процесів, певною мірою подібних до реальних процесів виявлення-виправлення дефектів у програмних системах.

Ключові слова: надійність програмних систем вторинні дефекти, о динаміка дефектів другого порядку, обчислювальний експеримент.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В современной теории надёжности программных систем (ПС), особенно в отношении систем критического назначения, ведущую роль имеют характеристики, связанные с процессом «очистения» ПС от дефектов [1, 2]. Для их оценки широко используются т.н. вероятностные модели надёжности. Они трактуют процесс «очистения» как стохастический, подчинённый таким условиям, которые позволяют его описывать с помощью временных зависимостей средних величин, для которых можно записать дифференциальные или разностные уравнения. Семейства решений таких уравнений, обычно однопараметрические, поскольку уравнения имеют первый порядок, служат для аппроксимации реальных зависимостей наблюдаемых характеристик анализируемых процессов. После этого становятся возможными необходимые оценки надёжности исследуемой ПС, например, оценка числа остаточных дефектов на данный момент времени или прогноз момента, начиная с которого таких дефектов, вероятно, не останется совсем [1, 3]. Для разных процессов «очистения», происхо-

дящих с реальными ПС, могут оказаться наиболее подходящими разные модели данного класса, а точность аппроксимаций и прогноза нередко оставляют желать лучшего [4]. Действительно, однопараметрические семейства, нередко стоящие из монотонных функций, не всегда пригодны к «подгонке» под экспериментальные графики зависимостей, которые, в частности, на практике обычно не монотонны. Причина неудовлетворительности результатами моделирования в таких случаях часто связывают с эффектом вторичных дефектов. Разработаны способы модификации прежних вероятностных моделей надёжности с учётом этого эффекта [5–7, 1].

Для целей более реалистичного прогноза динамики обнаруживаемых и исправляемых дефектов ПС была разработана математическая модель процессов исправления дефектов, получившая название динамики дефектов второго порядка. Она основана на системе линейных дифференциальных уравнений второго порядка [8–9, 1]. В частности, она учитывает образование новых дефектов при исправлении прежних.

Однако наблюдение и статистическое описание характеристик реальных процессов обнаружения-исправления дефектов программных систем, которые связаны со вторичными дефектами, весьма затруднено на практике. Это препятствует верификации динамики дефектов второго порядка на основе экспериментальных данных. Поэтому разработка новых подходов к верификации обсуждаемой перспективной модели процесса «очистки» ПС от дефектов является актуальной задачей.

При решении этой задачи желательно было ослабить необходимость привлечения для целей верификации подробных данных о многих реальных проектах, заменив это верификацией на математических моделях аналогично подходам Model Checking [10] или инварианто-ориентированной оценки качества ПС [11].

Поиск пути решения поставленной задачи, требовал учесть конкретный опыт недавних исследований.

Классические подходы к математическому моделированию динамики дефектов в процессах «очистки», т.е. их обнаружения и ликвидации, исходили из идеализирующих допущений, среди которых выделяется предположение о немедленном и окончательном исправлении в программной системе любого обнаруженного дефекта [1]. Несмотря на то, что некоторые модели предполагают какие-то послабления этого постулата, он является доминирующим в популярных моделях, рассмотренных, в частности, в [1, 2, 12]. Вместе с другими постулатами, которые обычно сужают класс допустимых стохастических процессов «очистки», это приводит к тому, что естественные характеристики, такие как функция риска или число остаточных дефектов, согласно моделям убывают при «очистке» со временем по экспоненциальному закону. Можно утверждать [1], что феноменологическое описание усреднённой стохастичности с помощью линейного дифференциального уравнения первого порядка с постоянным коэффициентом, по сути, покрывает «классические» модели процессов «очистки» ПС (Джелинского-Моранды, Гел-Окумото, Шнайдервинда, Мусы и др.):

$$f(0) = F_0, \quad \dot{f} = -Af \quad (t > 0), \quad (1)$$

где f – число дефектов системы; F_0 – начальное число дефектов.

Несмотря на то, что наиболее очевидным отклонением от теории в реальных процессах «очистки» является мгновенность исправления дефектов, наиболее серьёзным из таких отклонений считается [1, 12] допущение о невозможности внесения в ПС новых дефектов при исправлении прежних. Было понятно, что допущение о наличии встречного процесса возникновения вторичных дефектов *при прочих неизменных предположениях моделей* не вносит в них с математической точки зрения ничего нового. В этом случае изменяется только интерпретация коэффициента в (1):

$$A = A_1 - A_2, \quad (2)$$

где A_1 – скорость удаления обнаруженных дефектов из расчёта на один из них;

A_2 – скорость появления новых дефектов в процессе исправления прежних (отнесённая к одному дефекту).

В связи с этим необходимо иметь в модели больше переменных. В динамике дефектов второго порядка это сделано по аналогии с линейными уравнениями феноменологической термодинамики неравновесных процессов [1]:

$$\dot{f}_1 = -A_1 f_1 - A_2 f_2, \quad (3)$$

$$\dot{f}_2 = -A_2 f_1 - A_1 f_2, \quad (4)$$

$$f_1(0) = F_0, f_2(0) = 0, \quad (5)$$

где $f_1 = f_1(t)$ – количество «дефектов выходного потока» в системе на момент t – тех, из числа которых дефекты на периоде от t до $t+dt$ случайным образом обнаруживаются и исправляются; $f_2 = f_2(t)$ – отрицательная величина, модуль которой – количество «дефектов входного потока», которые в момент t образуются при исправлении прежних дефектов и на периоде от t до $t+dt$ ещё не могут быть обнаружены в процессе «очистки».

Динамика обнаружения-ликвидации дефектов, подчиненная (3)–(5), предсказывает качественно правдоподобное поведение процесса, в виде

$$k = A_2 / A_1 \quad (6)$$

и допускает идентификацию параметров по полученным в реальном процессе «очистки» значениям

$$D_1 = D(t_1), D_2 = D(t_2), \dots, D_k = D(t_k), \quad (7)$$

ряда кумулятивных чисел (т.е. по количествам обнаруженных дефектов на данный момент времени t). Тем самым возможен прогноз поведения кумулятивных чисел при продолжении процесса на основе теоретической функции кумулятивных чисел, которая в данной модели имеет явный вид. Однако переменные модели имеют смысл внутренних по отношению к системе, а не наблюдаемых на выходе процесса величин, хотя их тесная связь с наблюдаемыми в процессе «очистки» первичными и вторичными дефектами несомненна. Вследствие этого, непосредственная проверка на реальных примерах или теоретическое доказательство принципиальной состоятельности данной модели и метода прикладного использования получают серьёзные дополнительные затруднения. Более перспективной представляется проверка адекватности модели и основанного на ней метода прогноза в лабораторных условиях на тестовых примерах.

Вообще, характерной особенностью современного математического моделирования процесса «очистки» ПС от дефектов является то, что в существующих моделях никакие конкретные детали самого процесса не только не отражаются прямо, но даже и не рассматриваются в качестве основы содержательных обобщений. Модели, которые строятся, могут с тем же успехом описывать многие другие информационные процессы.

Целью работы является развитие концепции верификации модели динамики обнаружения и исправления дефектов программных систем с использованием вычислительных экспериментов.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ІССЛЕДОВАНИЙ. В качестве выводов из проведенного анализа состояния проблемы отметим следующее:

1) Имеет безусловную перспективу переход от чисто феноменологических моделей к моделям, которые используют конкретные механизмы первоначальной генерации, дальнейшего поиска и ликвидации имеющихся дефектов с возможным появлением вторичных нарушений «чистоты» системы.

2) Задача верификации какой либо модели динамики дефектов в абсолютном смысле, т.е. независимо от конкретного устройства системы, не имеет шансов на успех, и вместо этого необходимо ставить задачи верификации математических моделей дефектов ПС относительно реальных или специальных тестовых систем принадлежащих конкретным классам систем с понятным механизмом образования и учёта вторичных дефектов.

В связи с этим в широком классе динамических систем (не только программных!), для описания которых в принципе можно использовать модель динамики дефектов 2-го порядка, опишем более узкий класс систем, можно сказать, виртуальных с предельно простым механизмом образования первичных и вторичных эффектов и построим метод верификации динамики второго порядка относительно этого класса. Для этого сформулируем удобную для наших целей точку зрения модель динамики второго порядка.

Рассмотрение часто удобно проводить в терминах безразмерного времени

$$s = -A_1 t, \quad (8)$$

но всегда нужно проводить лишь для интересного на практике случая $A_1 > A_2$ ($k < 1$) в (3)-(5).

Концепция динамики второго порядка надёжности ПС апеллирует к корпускулярной интерпретации дефектов и принципу их полного случайного перемешивания. Основываясь на этом, предоставим следующую наглядную физическую интерпретацию динамики дефектов на основе (3)-(5) (рис. 1).

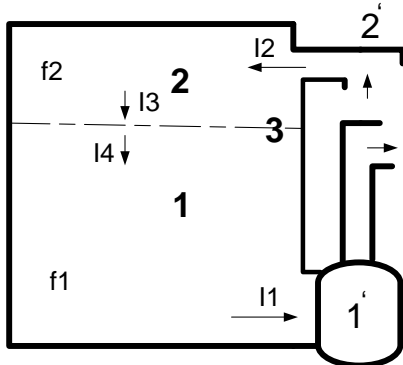


Рисунок 1 – Наглядная интерпретация рассматриваемой модели динамики второго порядка

Идёт очистка резервуара с газом, который в этой наглядной модели соответствует ПС, от содержащейся в газе примеси, частицы которой в этой модели соответствуют дефектам ПС. Резервуар состоит из основной ёмкости 1 и шлюза 2, которые разделены полупроницаемой стенкой 3. Насос 1' откачивает газ

из ёмкости 1 в окружающую среду неограниченной ёмкости, заполненной тем же газом, в котором выкачиваемая примесь стремится выровнять свою концентрацию, тем самым, устремляя её к 0. Понижение давления в ёмкости 1 при таком выкачивании вызывает подсос газа из ёмкости 2 в 1 и из окружающей среды в ёмкость 2 по патрубку 2'. Чем сильнее загрязнён выходной поток, тем выше концентрация примеси в окрестности патрубка 2-3,и, следовательно, больше примеси попадает в резервуар 2 с входным потоком. Выкачивание примеси соответствует процессу очищения ПС от дефектов, а попадание примеси в шлюз 2 соответствует появлению вторичных эффектов. Со временем, за счёт рассасывания примесей в окружающей среде, число частиц примесей в данной системе убывает до 0. Основной ёмкости физической модели соответствует базовая реализация ПС, а шлюз 2 соответствует исправляемой части кода. Стенка 3 соответствует тому, что вторичные дефекты из части кода, исправляемых в момент t , ещё не доступны для исправления в тот же момент. Предполагается, что динамика физической модели описывается теми же уравнениями для потоков, что и динамика дефектов. Её также можно записать в виде

$$\frac{d}{ds} f_1 = -I_1 + I_4 \quad (9)$$

$$\frac{d}{dt} (-f_2) = I_2 - I_3, \quad (10)$$

где I_1, I_4 – поток примеси или дефектов из основной ёмкости или системы и в неё; I_2, I_3 – поток примеси или дефектов в шлюз или в систему и из них.

На основе известного вида известному виду решения задачи (3)-(5)

$$\begin{aligned} f_1 &= F_0 \cdot ch(A_2 t) \cdot \exp(-A_1 t), \\ f_2 &= -F_0 \cdot sh(A_2 t) \cdot \exp(-A_1 t) \end{aligned} \quad (11)$$

получаются явные выражения и для определяемых потоками I_s кумулятивных величин D_s :

$$\begin{aligned} D_1 &= D_1(t) = \int_0^t I_1(\tau) d\tau = \int_0^t A_1 f_1(\tau) d\tau = \\ &= \frac{F_0 A_1^2}{A_1^2 - A_2^2} - \frac{F_0 A_1}{2} \left(\frac{e^{-A_2 t}}{A_1 - A_2} + \frac{e^{-A_1 t}}{A_1 + A_2} \right) e^{-A_1 t} \\ D_4 &= D_4(t) = \int_0^t I_4(\tau) d\tau = \int_0^t A_2 (-f_2(\tau)) d\tau = \\ &= \frac{F_0 A_2^2}{A_1^2 - A_2^2} + \frac{F_0 A_2}{2} \left(\frac{e^{-A_2 t}}{A_1 + A_2} - \frac{e^{-A_1 t}}{A_1 - A_2} \right) e^{-A_1 t} \end{aligned} \quad (12)$$

и аналогично для

$$\begin{aligned} D_3 &= D_3(t) = \int_0^t I_3(\tau) d\tau = \int_0^t A_1 f_2(\tau) d\tau, \\ D_2 &= D_2(t) = \int_0^t I_2(\tau) d\tau = \int_0^t A_2 (-f_2(\tau)) d\tau. \end{aligned} \quad (13)$$

Понятие вторичных дефектов, как понятие частиц примеси в «физической» модели, в принципе, корректно, но требует анализа. Действительно, обратимся к закону сохранения в данной модели.

Исходя из того, что при $t \rightarrow \infty$ в процессе «очистки» все дефекты в системе должны исчезнуть, число всех обнаруженных на выходе дефектов должно быть равно числу всех первичных дефектов плюс число всех возникавших помимо них дефектов «на входе». Из формул для кумулятивных величин (12), (13) при условии $A_1 > A_2$ ($k < 1$) получим:

$$D_1(\infty) - D_4(\infty) = F_0. \quad (14)$$

С другой стороны, в конце концов все дефекты (или частицы примеси) входного потока, которые появились благодаря потоку D_2 (шлюзовую ёмкость в физической модели), должны числом совпадать со всеми теми, которые удалялись из числа дефектов входного потока (уходили в стенку 3). И действительно, элементарные выкладки дают:

$$D_2(\infty) = D_3(\infty). \quad (15)$$

Парадокс в том, что с тем же успехом ожидаемо, но, как проверяется, неверно, что потоки D_3 и D_4 на бесконечности совпадают. Поэтому возможно определить вторичные дефекты в рассматриваемой модели либо как то, что вносит поток I_2 - внешняя точка зрения либо переносит поток I_4 - внутренняя точка зрения. Мы выберем внутреннюю точку зрения.

Более сложная и принципиальная проблема состоит в том, что при работе с ПС наблюдаемы только обнаруженные дефекты - то, что выносит поток I_1 ! А, поскольку, решение, что считать вторичным дефектом согласно модели, является результатом разумного (но не имеющего разумные альтернативы!) выбора, то по ключевой характеристике числа вторичных дефектов отнюдь неясно, что с чем сравнивать при попытке верификации динамики второго порядка на основе данных динамики дефектов, наблюдаемых в реальных проектах! Вариант решения – сравнивать в таких случаях числа наблюдаемых дефектов с дефектами выходного потока, рассчитанными согласно модели аналогично [7].

Наш подход иной: проводить верификацию на основе сравнения не с программными, а специально сконструированными для этих целей системами. Единственное, что эти системы (по сути своей виртуальные) делают, это производят дефекты и поддерживают процесс их поиска и удаления, причём с накоплением опыта, всё более препятствующего со временем появлению новых (вторичных) дефектов. Последнее обстоятельство – важная особенность также и ПС.

Итак, введём в рассмотрение систему для генерации и ликвидации «дефектов» (далее без кавычек), которые размещаются в ячейках пространства дефектов (по одному в ячейке, но это не принципиально). Пространство дефектов это

$$P = L^m, \quad L = \{1, 2, \dots, l\}, \quad (16)$$

которое считается вложенным в R^m .

Ячейка – это функция элемента P , принимающая значения в классе объектов с двумя атрибутами (наглядное пояснение на рис. 2). Первый может иметь значения:

- 1 – в ячейке дефекта нет и не было;
- 0 – дефект в ячейке был, но ликвидирован;
- +1 – ячейке есть дефект.

Второй атрибут в качестве возможных значений имеет номер координаты ячейки (т.е. номер экземпляра множества L в декартовом произведении (16)).

Алгоритм процесса очищения, который реализуется в дискретном времени для этой системы следующий:

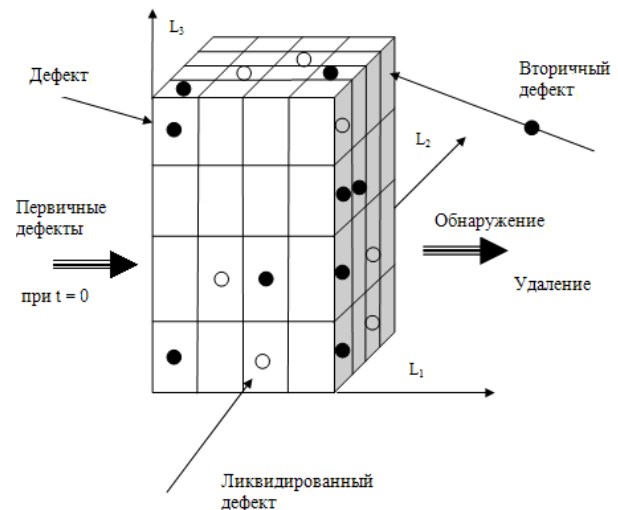


Рисунок 2 – Наглядная схема виртуальной системы генерации первичных и вторичных дефектов, здесь $m = 3, l = 4$

¹⁰ При $t = 0$ ячейки пространства дефектов полностью заполняются случайным образом значениями первого атрибута -1 и +1 (на практике число размещаемых дефектов, т.е. значений +1, задаётся). Второй атрибут ячеек d назначается так, что евклидово расстояние от элемента R^m , которому сопоставлена ячейка до координатной оси с номером d для данного элемента минимально (если таких номеров несколько, d выбирается среди них случайно).

¹⁰ При $t = t_k$ ($k > 0$) с вероятностью, прямо пропорциональной отношению числа дефектных ячеек к общему числу ячеек, осуществляется обнаружение дефекта. Если таковой не обнаружен, то перейти к следующему значению дискретного времени. Иначе обнаруженный дефект ликвидируется, но с заданной вероятностью возникает потенциальный вторичный дефект. Тогда для него случайным образом назначается ячейка (т.е. выбирается элемент P). Далее просматриваются ячейки, в которых ранее находились ликвидированные дефекты, и проверяется совпадение их координат с координатами потенциального вторичного дефекта. Если совпадут вторые атрибуты, а также совпадут все координаты, кроме равной этому атрибуту, то вторичный дефект не возникает. Иначе он размещается в пространстве дефектов. Со временем возникающие потенциальные дефекты становятся вторичными с убывающей вероятностью, что аналогично происходящему в процессах очищения ПС.

Дадим метод относительной верификации адекватности и прогностической способности динамики второго порядка.

Применительно к процессам очищения в виртуальных системах генерации дефектов сложный процесс идентификации параметров модели заменяется простым и в определенном смысле предельно точным методом. Действительно, между параметрами модели и итогами процесса в рассматриваемой виртуальной системе имеется следующая связь:

$$D_0 = \frac{F_0}{1-k^2}, \quad S_\infty = \frac{F_0}{1-k^2}, \quad (17)$$

где D_0 – всех число обнаруженных в виртуальном процессе дефектов; S_∞ – число всех вторичных дефектов, обнаруженных в виртуальном процессе. Или, иначе,

$$k = \sqrt{\frac{S_\infty}{D_0}}, \quad F_0 = D_0 - S_\infty. \quad (17)$$

При этом важно, что D_0, S_∞ получаются в численных эксперимента для наблюдаемого процесса точно, поскольку при реализации полная ликвидация дефектов в виртуальной системе происходит за конечное число шагов дискретного времени $t = k$, полагая для удобства, что $t_i = i$. Поскольку модель динамики второго порядка предскажет исчерпание дефектов в системе при таком s^* , что

$$f_1(s^*) < 0,5, \quad (18)$$

то мы должны отождествить критические моменты и, тем самым, согласовать безразмерное время модели динамики второго порядка с дискретными моментами, полагая

$$t_k = s^* \Rightarrow \forall i: s_i = i \cdot \frac{s^*}{k}. \quad (19)$$

Для оценки точности модели с идентифицированными параметрами естественно ввести следующие меры:

$$p_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |D_j - D(s_j)|^2, \quad (20)$$

$$p_{rest} = |R_n - R(s_n)|, \quad (21)$$

где D_i, R_i – число обнаруженных и остаточных дефектов виртуальной модели на i -й момент времени; $D(s) = D_1(s), R(s)$ – рассчитанное число обнаруженных дефектов и число остаточных дефектов, рассчитанные согласно модели динамики второго порядка на момент s_n ($n < k$), который при тестировании принят за последний момент наблюдения. При этом заранее должны быть назначены уровни значимости Δ^{-1}, δ^{-1} для критериев точности модели динамики второго порядка:

$$P_2 \leq \Delta, \quad (22)$$

$$p_{rest} \leq \delta. \quad (23)$$

Для апробации метода использовались результаты однократного тестирования на данных, сгенерированных на компьютере для процессов «очищения» виртуальных систем, условно названных виртуаль-

ными проектами 1 и 2. Использовалась собственная программы, разработанная на языке Ада (готовится также версия по технологии [13]). Она аналогична инструментальной программе разработанной в [14]. Примеры выбирались так, чтобы результаты генерации как можно лучше напоминали реальные процессы для программных (информационных) систем, публиковавшихся, в частности, в работах [5–8, 1].

Мы задали уровень значимости [10].

$$\Delta = \delta = 0,1. \quad (24)$$

Оказалось, что первый проект описывается с помощью динамики второго порядка точно по обоим критериям (22), (23), а второй – только по критерию (22). Если изменить уровень вдвое в сторону повышения, то будет удовлетворён только критерий (22) только для второго проекта. Если же вдвое снизить, то по критерию (23) моделирование второго проекта всё-равно останется, по точности, неудовлетворительным.

ВЫВОДЫ. В данной статье развита концепция верификации данной модели на основе вычислительных экспериментов. Обоснован метод, который позволяет, задавшись определёнными уровнями значимости, выяснять, адекватна ли и точна ли динамика второго порядка по отношению к виртуальным системам, специально созданным для генерации процессов обнаружения-исправления дефектов на этих уровнях. Построенные виртуальные системы могут подбираться, в определённой степени сходными по результатам с реальными процессами обнаружения-исправления дефектов в ПС.

Для практического применения построенный метод оценивания точности динамики ошибок второго порядка предстоит дополнить методом поиска оптимальной кратности тестирования. Также желательно определить место разработанного метода в системе моделей термодинамического типа [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. CASE-оценка критических программных систем. Т. 2. Надежность / О.Н. Одарущенко, В.С. Харченко, Д.А. Маевский и др. – Под ред. В.С. Харченко – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2012. – 292 с.
2. Инженерия критического ПО / Б.М. Конорев, И.Б. Туркин, В.В. Сергиенко, В.С. Харченко, и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2014. – 80 с.
3. V. Lyashenko, M. Zagirnyak, A. Zinoviev, Y. Soloviev, Ossokine Guennadi. The concentrator of the fire extinguishing system // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2/2014 (85). – С. 73–78.
4. Maevsky D. Software reliability. what is it? / Dmitry A. Maevsky, Igor A. Ushakov, Ludmila N. Shapa // RT&A # 04 (31) (Vol.8) 2013, December. – P. 60–65.
5. Одарущенко О.Н., Руденко А. А., Харченко В. С. Учет вторичных дефектов в моделях надежности программных средств // Математичні машини і системи, 2010. – № 1. – С. 205–217.
6. Маевский Д.А., Жеков О.П. Использование

теории временных рядов для выделения вторичных ошибок на этапе тестирования программного обеспечения // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2011. – № 2 (16). – С. 82–85.

7. Одарущенко О.Н., Руденко А. А., Харченко В.С. Метод оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*, 2012. – № 7 (59). – С. 294–300.

8. Маевський Д.А. Структурна динаміка програмних систем і прогнозування їх надійності при наявності вторинних дефектів // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*, 2010. – № 3 (44). – С. 103–109.

9. Маевський Д.А. Влияние вторичных дефектов на надежность динамических информационных систем // *Вісник Національного Технічного Університету "ХПИ"*, 2012. – №50 (956). – С. 54–58.

10. Верификация моделей программ: Model Checking / Э.М. Кларк, О. Грамберг, Д. Пеллед; пер. с англ. под ред. Р. Смелянского. – М.: МЦНМО, 2002. – 416 с.

11. Инварианто-ориентированная оценка качества программного обеспечения космических систем / Б.М. Конорев, Ю.С. Манжос, В.С. Харченко и др.; под ред. Б.М. Конорева, В.С. Харченко. – Х.: Госу-

дарственный центр регулирования качества поставок и услуг, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2009. – 222 с.

12. Прогнозирование количества ошибок на этапе эксплуатации адаптируемых учетных информационных систем / С.Г. Антошук, Д.А. Маевский, С.А. Яремчук // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 6 (47). – С. 204–210.

13. Саух В.М., Фесенко Т.В. Сервіс-орієнтована модель електронно-бібліотечної системи чдту на базі хмарних обчислень // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2/2015. – С. 57–63.

14. Лазурик В.Т., Мищенко В.О. Концепция и основные особенности модели качества растущего пакета программ RT-Office // *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. – 2010. – № 7 (48). – С. 113–116.

15. CASE-оценка критических программных систем. Том 1. Оценка качества / В.О.Мищенко, О.В.Поморова, Т.А. Говорущенко; под ред. Харченко В.С. – Х.: Нац. аэрокосмический ун-т "Харьк. авиат. ин-т", 2012. – 201 с.

VERIFICATION METHOD OF THE SECOND ORDER IN THE SOFTWARE SYSTEMS RELIABILITY THEORY

V. Mishchenko

V. Karazin Kharkiv National University

sq. Svobody, 4, Kharkov, 61022, Ukraine. E-mail: mischenko@univer.karkov.ua

Purpose. To develop, based on computational experiments, the verification concept for mathematical model of the second order defects dynamics in software systems. Dynamics of such kind, which has been created recently by Dmitry A. Maevsky, is designed to make realistic forecast of life cycle of detected and then corrected software system defects, including secondary defects. The theory essential feature is application of the linear system of second order differential equations. **Methodology.** The study is based on the analysis of the experience obtained in course of recent researches in the field of probabilistic models of software system reliability that take into account the second order defects influence. The used methods are the classical analytical technique of flow calculations founded on solution of ordinary differential equations with the constant coefficients and the modern technology of simulation software systems. **Originality.** It is for the first time that the practical and feasible method is created, which allows verification of the dynamics of the second order defects. For this purpose, the pioneer model has been developed that simulates the modeling process and particularly the process of detection and "correction" of information objects similar to software system defects. This model allows analyzing the quality of the model forecast approximation and comparing the mathematically modeled dynamics of the second order defects with the actual characteristics of studying processes. **Practical value.** This method will give the tool, having given level of significance, to find out whether this second order dynamics is adequate and accurate with respect to the virtual systems, which were created specially to generate the processes of these levels defects detecting-correcting. These virtual systems can be to a certain extent tailored to be similar by their results with the real processes of defects correction in the SS.

Key words: the reliability of software systems secondary defects, computing experiment.

REFERENCES

1. Odaruschenko, O.N., Kharchenko, V.S., Maevsky, D.A. et al. (2012), *CASE-otsenka kriticheskikh programnyih sis-tem. T. 2. Nadezhnost* [CASE-assessment of critical software systems. V. 2. Reliability], Ed. Kharchenko, V. S., Nats. aerokosm. un-t i m. N. E. Zhukovskogo "ХАИ", Kharkov, Ukraine.

2. Konorev, B.M., Turkin, I.B., Sergienko, V.V. et al. (2014), *Inzheneriya kriticheskogo PO* [Engineering of critical software], Nats. aerokosm. un-t i m. N. E. Zhukovskogo "ХАИ", Kharkov, Ukraine.

3. Lyashenko, V., Zagirnyak, M., Zinoviev A., Soloviev Y., Ossokine Guennadi (2014), "The concentrator of the fire extinguishing system", *Tranzactions of Kremenchuk Mykailo Ostrogradskyi National University*, iss. 2, no. 85, pp. 73–78.

4. Maevsky, D.A., Ushakov, I.A., Shapa, L.N. (2013), "Software reliability. what is it?", *RT&A*, no. 04 (31), Vol.8, pp. 60–65.

5. Odaruschenko, O.N., Rudenko, A.A., Kharchenko, V.S. (2010), "Allowance for secondary defects in software reliability models", *Mathematical Machines and Systems*, no. 1, pp. 205–217.

6. Maevsky, D.A., Zhekov, O.P. (2011), "Using the theory of time series to isolate the secondary error in the testing phase of software", *Radioelektronni I kompyuterni sistemi*, no. 2 (16), pp. 82–85.

7. Odaruschenko, O.N., Rudenko, A.A., Kharchenko, V. S. (2012), "The method of estimation of software reliability based on secondary defects", *Radioelektronni i kompyuterni sistemi*, no. 7 (59), pp. 294–300.

8. Maevsky, D.A. (2010), "Software systems structural dynamics and their reliability prediction in the presence of secondary defects", *Radioelektronni i kompyuterni sistemi*, no. 3 (44), 2010, pp. 103–109.

9. Maevsky, D.A. (2012), "Influence of secondary defects on the reliability of dynamic information systems", *Visnik Natsionalnogo Tehnichnogo Universitetu «HPI»*, no. 50 (956), pp. 54–58.

10. Clark, E.M., Gramberg, A., Peled, D. (2002), *Verifikatsiya modeley programm: Model Checking* [Verification program models: Model Checking], / EM Clark A. Gramberg, D. Peled, per. s angl. pod red. R. Smelyanskiy, MTsNMO, Moscow, Russia.

11. Konorev, B.M., Manzhos, Y.S., Kharchenko, V.S. (2009), *Invarianto-orientirovannaya otsenka kachestva programmnoho obespecheniya kosmicheskikh sistem* [Invariant-oriented evaluation of the software quality space systems], Gosudarstvennyy tsentr regulirovaniya kachestva postavok i uslug, Natsionalnyy aerokosmicheskiy universitet im. N.E. Zhukovskogo «HAI», Kharkov, Ukraine.

12. Antoshchuk, S.G., Maevsky, D.A., Yaremchuk, S.A. (2010), "Forecasting errors from adoptable Accounting Information Systems at the stage of their exploitation", *Radioelektronni i kompyuterni system*, no. 6 (47), 2010, pp. 204–210.

13. Saukh, V.M., Fesenko, T.V. (2015), "Service-oriented model of ChSTU electronic library system based on cloud computing", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, iss. 2, pp. 57–63.

14. Lazurik, V.T., Mishchenko, V.O. (2010), "The concept and main features of the quality model of the growing software package RT-Office", *Radioelektronni i kompyuterni sistemi*, no. 7 (48), pp. 113–116.

15. Mischenko, V.O., Pomorova, O.V., Govorushchenko, T.A. (2012), *CASE-otsenka kriticheskikh programmnykh sistem. Tom 1. Otsenka kachestva* [CASE-assessment of critical software systems, Volume 1. Quality assessment], Ed. Kharchenko, V. S., Nats. aerokosm. un-t i m. N. E. Zhukovskogo "HAI", Kharkov, Ukraine.

Стаття надійшла 18.11.2015.