

УДК 004.415.5

А.А. ГОРДЕЕВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***УНИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЗАСЕВА ДЕФЕКТОВ**

Проведен анализ методов засева дефектов программного обеспечения (ПО) при оценке качества его верификации. Предложена унифицированная модель засева дефектов, которая может быть применена на любом из этапов разработки ПО.

**верификация ПО, засев дефектов, профилирование****Введение и постановка задачи**

Разработка ПО является сложным процессом, состоящим из ряда этапов, количество, номенклатура и содержание которых зависят от выбранной модели жизненного цикла (ЖЦ) ПО. Контроль качества реализации этапов разработки осуществляется при помощи их верификации. Верификация – подтверждение экспертизой и представлением объективных доказательств того, что конкретные требования полностью реализованы [1]. Качество ПО напрямую зависит от качества его верификации. Практика показывает, что одной из причин проявления дефектов в ПО систем контроля и управления АЭС, ракетно-космических систем является следствием недостаточного качества верификации и тестирования [2].

Существует ряд методов оценки процесса верификации. К ним относятся методы, основанные на засеве дефектов в ПО [3 – 5]. Анализ таких методов показал, что они имеют недостатки, связанные с тем, что, во-первых, засев дефектов используется только на этапе кодирования [3 – 5]; во-вторых, многие методы ориентированы на ПО одного типа, и не могут быть использованы при засеве дефектов в другой тип ПО [6].

**Цель статьи.** Разработка унифицированной модели оценки верификации ПО на основе засева дефектов. Унификация модели определяется ее типовой структурой независимо от этапа ЖЦ ПО, на

котором используется процедура засева с последующей ее детализацией, учитывающей особенности каждого этапа разработки.

**Основные понятия и процедуры**

Предлагаемая модель позволяет оценить верификацию ПО, проводимую внутренней службой качества (на рис. 1 процесс верификации обозначен V), или в рамках независимой верификации – экспертом или группой экспертов (рис. 1, представлена IV).

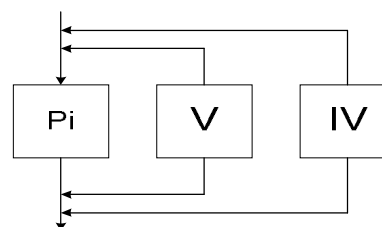


Рис. 1. Связь процессов верификации V и независимой верификации IV для этапа Pi разработки

Модель ориентирована на засев дефектов в ПО в процессе его разработки, т.е. до его выполнения [3].

**Таксономия и профили дефектов.** Для описания модели уточним ряд понятий. *Таксономия профиля дефектов (ТПД)* – взаимосвязанная иерархия типов дефектов. Она необходима для определения типов дефектов, в соответствии с которыми осуществляется засев. Для ее получения могут использоваться формальные операции над фасетно-иерархическими структурами (ФИС) [7, 8]. *Прогнозируемый профиль*

*дефектов (ППД)* – профиль дефектов, соответствующий таксономии профиля дефектов, отражающий абсолютное или относительное количество прогнозируемых дефектов в ПО по типам и формируемый на основе использования моделей прогноза дефектов ПО. Он необходим для прогноза количества потенциальных дефектов в ПО. *Засаеваемый профиль дефектов (ЗПД)* – профиль дефектов, являющийся частью прогнозируемого профиля дефектов, отличающийся от него меньшим количеством дефектов по типам и содержащий в себе конкретные дефекты для засева. ЗПД определяет номенклатуру и количество дефектов, необходимых для засева. *Профиль обнаруженных дефектов (ПОД)* – профиль дефектов, формируемый по результатам тестирования и верификации. ПОД необходим для представления всех дефектов, которые были обнаружены в результате тестирования и верификации. *Профиль высеянных дефектов (ПВД)* – профиль дефектов, являющийся подмножеством засеваемого профиля дефектов и формируемый по результатам тестирования и верификации ПО. ПВД предназначен для определения дефектов, которые были засеяны и обнаружены в результате тестирования и верификации. *Профиль собственных дефектов (ПСД)* – профиль дефектов, формируемый по результатам тестирования и верификации, и включающий дефекты не входящие в ЗПД. Он необходим для определения дефектов, которые не были засеяны искусственным образом, а внесены разработчиками. *Профиль не высеянных дефектов (ПНВД)* – профиль дефектов, являющийся подмножеством ЗПД и включающий в себя дефекты, которые не были обнаружены в ходе тестирования и верификации. Элементы профиля дефектов представлены на рис. 2, где  $t_i$  –  $i$ -й тип дефектов ПО;  $N_{t_i}$  – количество дефектов типа  $t_i$ .

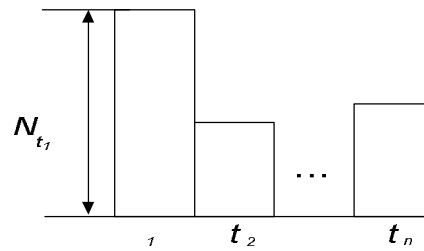


Рис. 2. Обозначения элементов профиля дефектов  
**Базовые процедуры.** Предлагаемая модель оценки состоит из процедур прогноза дефектов, засева, тестирования и верификации, посева и анализа полученных результатов. Взаимосвязь процедур и последовательность их выполнения представлена на рис. 3. Процедуры прогноза, засева, посева и анализа полученных результатов как правило проводятся экспертами в рамках независимой верификации, а процедура верификации и тестирования – внутренней службой качества фирмы, разрабатывающей ПО. В данной статье предполагается, что независимая верификация выполняется поэтапно в процессе разработки ПО. В тоже время этапы и организация независимой верификации не являются принципиальными для предлагаемой модели.

### Элементы модели

**Процедура прогноза.** Процедура прогноза решает задачу прогнозирования количества потенциальных дефектов в ПО и формирования ППД.

Входные данные определяются видом (структурой) ТПД, сформированной экспертом на основе формальных операций над ФИС [5, 6] и ПО (продукт  $i$ -го этапа) (рис. 3). ТПД определяет информацию о типах дефектов, которые могут потенциально содержаться в ПО. На первом этапе процедуры осуществляется формирование ППД. Он по типам должен совпадать с ТПД (рис. 4), а количество дефектов по типам прогнозируется на основе моделей прогноза дефектов в ПО или статистических данных, полученных в результате тестирования и верификации аналогичных проектов.

Моделі прогноза дефектів застосовуються тільки тоді, коли відомі всі вихідні дані для прогнозування кількості дефектів ПО. В протилежному ж випадку, коли невідомі всі або частину вихідних даних для розрахунку потенціальних дефектів, використовуються статистичні дані о

дефектах, отримані при тестуванні і верифікації ПО. В даній статті моделі прогноза не розглядаються. На наступному етапі процедури прогноза відбувається формування ЗПД.

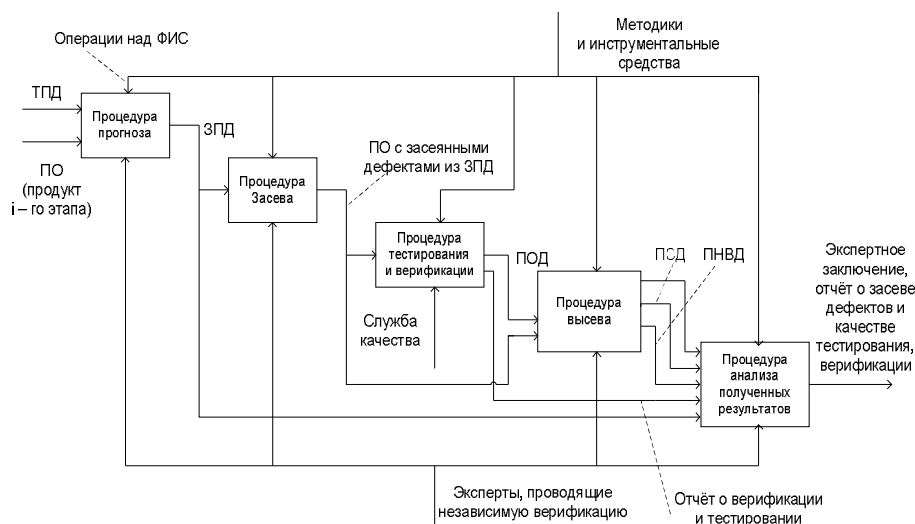


Рис. 3. Взаємозв'язок і послідовність виконання процедур оцінки верифікації

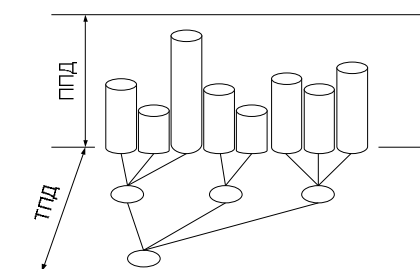


Рис. 4. Св'язь ТПД з ППД

По типам дефектів він повинен відповідати ППД, а по числу дефектів ППД і ЗПД повинні відрізнятися, так як засів прогнозованого числа дефектів в ПО являється складною задачею і вимагає як часових, так і людських витрат. В зв'язі з цим реально засіваються тільки частину дефектів з ППД. Число дефектів в ЗПД по типах визначається експертом, проводячим незалежну верифікацію.

**Процедура засіва.** Процедура засіва вирішує задачу безпосереднього розміщення дефекта в ПО. Засів здійснюється на основі методики, визначаючої місце дефектів в ПО виходячи з етапу розробки [9,10]. В даній статті такі методики засіва дефектів не розглядаються.

**Процедура тестування і верифікації.** Ця процедура вирішує задачі тестування і верифікації ПО, що містить засеяні дефекти і повинна здійснюватися в рамках проведення планового тестування і верифікації при переході до наступного етапу розробки. Слід відзначити, що в час цих процесів спеціалісти (проводячі верифікацію або тестування) не повинні знати про дефекти, засеяні на даному етапі розробки. В протилежному випадку, це призведе до зниження достовірності результатів оцінки якості тестування і верифікації. Всі дефекти, виявлені при тестуванні і верифікації, повинні бути зафіксовані і увійти в ПОД. Він формується експертами, проводячими незалежну верифікацію ПО. Дефекти, які були виявлені при цьому повинні бути усунути розробниками при налагодженні незалежно від того, являються ли дефекти засеянними або власними дефектами ПО.

**Процедура висіва дефектів.** Данна

процедура решать задачи, связанные с формированием ПВД, ПСД, ПНВД и высевом дефектов, соответствующих ПНВД. Высев дефектов осуществляет эксперт в рамках проведения независимой верификации.

На первом этапе процедуры экспертами осуществляется формирование ПВД, ПСД и ПНВД. Для их описания введены следующие обозначения:  $T$  – множество типов дефектов в профиле  $T = \{t_1, \dots, t_n\}$ ;  $N$  – общее количество дефектов в профиле,  $N = N_{t_1} + \dots + N_{t_n}$ ;  $D$  – множество дефектов в соответствующем профиле ( $D^{ПВД}$ ,  $D^{ПСД}$ ,  $D^{ПНВД}$ ,  $D^{ЗПД}$ ,  $D^{ПОД}$ ,  $D^{ППД}$ ),  $D^j = \{d_1^j, \dots, d_n^j\}$ , где  $j$  указывает тип профиля.

Профили дефектов ПО, сформированные в компоненте высева дефектов, представляются следующим образом:

– профиль высеянных дефектов формируется путем пересечения множеств  $D^{ЗПД}$  и  $D^{ПОД}$ , т.е.  $D^{ПВД} = D^{ЗПД} \cap D^{ПОД}$ ;

– профиль собственных дефектов формируется как разность множеств  $D^{ПОД}$  и  $D^{ЗПД}$ ,  $D^{ПСД} = D^{ПОД} \setminus D^{ЗПД}$ ;

– профиль невысеянных дефектов формируется на основе разности множеств  $D^{ЗПД}$  и  $D^{ПОД}$ ,  $D^{ПНВД} = D^{ЗПД} \setminus D^{ПОД}$ .

На следующем шаге данной процедуры

осуществляется высев дефектов, не обнаруженных при тестировании и верификации. Данная операция проводится с использованием методики высева, учитывающей особенности этапа разработки ПО.

#### Процедура анализа полученных результатов.

Определим профиль дефектов ОПД. Он состоит из дефектов ППД и ЗПД, т.е.  $D^{ОПД} = D^{ЗПД} \cup D^{ППД}$ . Следует отметить, что элементы множеств  $D^{ОПД}$  и  $D^{ЗПД}$  не должны пересекаться, т.е.  $D^{ЗПД} \cap D^{ППД} = \emptyset$ . Этап сравнения ОПД и ПОД заключается в их сравнении, осуществляемом по критерию совпадения типов дефектов и количеству дефектов по типам. Это дает информацию о качестве формирования профиля засеваемых дефектов, верификации (тестировании), прогнозировании количества дефектов в ПО. На рис. 5 изображены возможные варианты, получаемые при формировании ПОД. Данные варианты учитывают различные комбинации превышения и/или занижения дефектов как количеству, так и по типам.

Последним этапом в процедуре анализа полученных результатов является формирование экспертного заключения [11] и отчета о засевах дефектов и качестве тестирования и верификации, который должен содержать: данные про все профили дефектов; информацию, подтверждающую высев всех засеянных дефектов на основе осуществления оценки качества верификации.

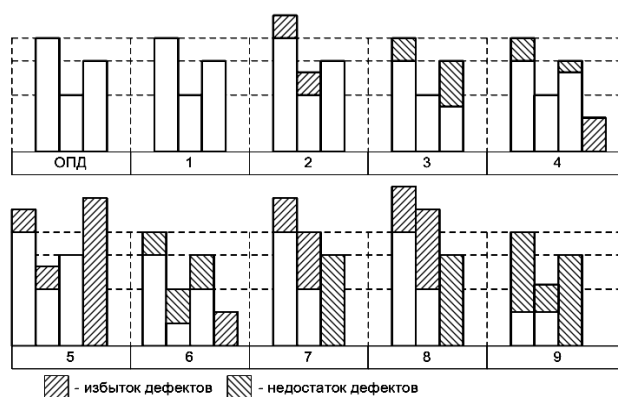


Рис. 5. Варианты профилей обнаруженных дефектов после проведения тестирования и верификации

### Выводы и направления дальнейших исследований

В данной статье предложена унифицированная модель оценки тестирования и верификации на основе засева дефектов ПО, которая может быть использована на любом из этапов разработки ПО. Дальнейшие направления развития модели должны быть связаны с анализом моделей прогноза потенциальных дефектов ПО и методик их засева. Кроме того, предложенная процедура должна быть дополнена методиками определения показателей качества верификации ПО.

Следует отметить, что на основе засева дефектов могут также решаться задачи, связанные с оценкой механизмов отказоустойчивости, обеспечивающих надежность ПО; обнаружением скрытых дефектов в ПО, которые трудно выявляются в результате тестирования, так как их проявление зависит от специфических условий. В связи с этим, на основе рассмотренной модели могут быть разработаны инструментальные средства, позволяющие оказать помощь экспертам и тестировщикам при решении описанных выше задач.

### Литература

1. ДСТУ 3918-1999 (ISO/IEC 12207) Інформаційні технології. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення. – Введ. 1.07.2000. – К.: Держстандарт України, 2000. – 49 с.
2. Харченко В.С., Скляр В.В., Тарасюк О.М. Анализ рисков аварий для ракетно-космической техники: эволюция причин и тенденций // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2003. – № 3. – С. 135-149.
3. Mei-Chen Hsueh, Timothy K. Tsai, Ravishankar K. Iyer. Fault Injection Techniques and Tools // IEEE. – April, 1997. – P. 75-82.
4. Clark J.A., Pradhan D.K. Fault Injection: A

Method for Validating Computing-System Dependability // Computer. – June, 1995. – P. 47-56.

5. Arlat J., Crouzet Y., Laprie J.C. Fault Injection for Dependability Validation of Fault-Tolerant Computer Systems // Proc. 19<sup>th</sup> Ann. Int'l Symp. Fault-Tolerant Computing, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 1989. – P. 348-355.

6. Looker N., Xu J. Assessing the Dependability of OGSA Middleware by Fault Injection // Proc. of the Symp. on Reliable Distri. Systems, 2003. – P. 293-302.

7. Гордеев А.А., Харченко В.С. Формирование профилей дефектов ПО с использованием операций объединения такономических структур // Вісник ХНТУ СГ ім. П. Василенка “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Х.: ХНТУ, 2005. – Вип. 37, т. 2. – С. 226-230.

8. Харченко В., Гордеев А. Фасетно-иерархические структуры в задачах оценки качества программных систем // 8 міжн. конф. “Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005)”: Тези доп. – Вінниця: Вінницькій нац. техн. у-т, 2005. – С. 126.

9. Dawson S., Jahanian F., Mitton T. Orchestra: A fault injection environment for distributed systems // Proc. 26<sup>th</sup> Int. Symp. on Fault-Tolerant Computing (FTCS), Sendai, Japan, June, 1996. – P. 404-414.

10. FIAT – Fault Injection Based Automated Testing Environment / Z. Segall, D. Vrsalovic, D. Siewiorek, D. Yaskin, etc // Proceedings Int. Symp. Fault-Tolerant Computing, FTCS-18, IEEE Computer Society, Jun, 1988. – P. 102-107.

11. IEC 880, Software for Computers in the Safety Systems of Nuclear Power Stations (IEC, 1986).

*Поступила в редакцию 17.02.2006*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.