

УДК 65.011.56

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.102309

## ПОКАЗАТЕЛИ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

© Е. П. Павленко, В. А. Айвазов

*Рассмотрена проблема оценки надежности программного обеспечения (ПО) информационных систем. Исследованы существующие подходы к оценке надежности программ, основные показатели, характеризующие надежность программ, проведен анализ достоинств и недостатков методов оценки надежности ПО. Рассмотрены особенности объектно-ориентированного ПО и факторы, влияющие на его надежность. Предложены показатели для оценки надежности объектно-ориентированного ПО, а также модели для определения их значений*

**Ключевые слова:** программное обеспечение, информационные системы, надежность, показатель, методика, объектно-ориентированная программная система

### 1. Введение

Для многих технических систем уровень надежности определяет, насколько система может быть внедрена и эффективно использована. К ним можно отнести различные информационные системы (ИС), включающие программное, техническое, информационное, организационное обеспечение и персонал. Информационная система выполняет информационное обслуживание управленческих служб и выполняет функции накопления, хранения, передачи и обработки информации. Она должна обеспечивать реализацию целей и задач, стоящих перед предприятием или организацией.

Информационные системы имеют достаточно сложную структуру. Система зависит от большого количества входящих в нее компонентов, их структурного взаимодействия, а также сложности внутренних и внешних связей. ИС трудно построить так, чтобы удовлетворить основные потребности разных клиентов. Усложнение систем является следствием возрастающей сложности и многообразия выполняемых ими функций.

Сбой в одном из элементов ИС может привести к сбою работы всей системы. Надежность системы выражается в различных показателях, в частности, коэффициенте готовности системы – отношению времени работоспособного состояния системы к времени ее незапланированного простоя. Рассматриваются две составляющие надежности ИС: надёжность аппаратных средств и надёжность программного обеспечения (ПО). Методы исследования надёжности аппаратной составляющей ИС достаточно хорошо проработаны. Для анализа надежности ПО следует применить другую методологию, разработать специальные методы обеспечения надежности программных систем, включая разработку математических методов расчета надежности и экспериментальной оценки надежности.

Причины недостаточной разработанности проблемы исследования надежности ПО ИС:

- не выработана единая концепция надежности ИС и ПО, обеспечивающего их функционирование;
- не существует общепринятого мнения об определениях многих ключевых понятий, связанных с надежностью различных видов ПО;

– не намечился единый подход к формированию номенклатуры показателей надежности ПО и способах их вычисления.

### 2. Литературный обзор

Первой достаточно серьезной работой, посвященной проблеме надежности и качества больших программных комплексов, стала книга Б. Бозма [1]. По мысли авторов, высоконадежное ПО можно создать только в том случае, если с самых ранних этапов создания ПО точно придерживаться определенной методологии. Эта методология должна учитывать непрерывность процесса внедрения, цели разработчика и заказчика, и возможное изменение целей в процессе работы над системой.

Чтобы формализовать понятие надежности программных средств, предложить математические модели его оценки, многие авторы предлагают опираться на статистические данные об ошибках, возникающих в процессе эксплуатации программ.

Большинство авторов при исследовании надежности программ предлагают известные из теории надежности аппаратуры показатели. Это множество показателей расширяется показателями, отражающими специфику ПО. В частности, такими, как вероятное количество оставшихся в программе ошибок, вероятное количество ошибок в ПО до начала отладки, вероятное число ошибок, которые будут исправлены за некоторое фиксированное время. В исследовании [2] рассматривает концепции надежности ПО, принципы проектирования надежных программных средств, их испытания, влияние языков программирования на надежность программы, доказательства правильности функционирования программ. Ценность последних снижается в связи с затруднениями при практическом применении.

В книге [3] представлены результаты анализа данных об ошибках в ПО. Целью анализа было определение возможных характерных типов ошибок, изучение эффективности стратегий разработки и испытаний ПО с точки зрения предотвращения и обнаружения ошибок, а также анализ надежности ПО в процессе его практической эксплуатации.

Показателем надежности ПО служит вероятность того, что оно проработает без ошибки в течение

ние установленного интервала времени, т. е. выходная информация будет находиться в заданных пределах для заданных условий [4].

Модель надежности ПО прогнозирует значение показателей надежности на основе параметров, известных заранее или определенных в ходе тестирования ПО. Модель Шумана [4] предполагает, что значение функции частоты отказов пропорционально числу ошибок, оставшихся в ПО после отладки в течение некоторого времени  $t$ .

Модель Шика-Волвертона основывается на предположении, что частота ошибок пропорциональна не только количеству ошибок в программе, но и времени отладки. Вероятность обнаружения ошибки возрастает с течением времени [5].

В источниках [6], [7] вопросы обеспечения надежности ПО связывают с тестовым покрытием кода. В работах [8], [9] приведены некоторые дополнительные показатели надежности ПО, предложен анализ видов, последствий и критичности ошибок в ПО. Некоторые модели оценки надежности ПО рассматриваются в [10].

Однако определение многих величин, предлагаемых авторами в данных исследованиях, проблематично. Программа не разрушается, не изнашивается, а просто содержит необнаруженные ошибки, поэтому математические модели не всегда исходят из верных предположений.

Кроме того, не рассмотрены особенности оценки надежности некоторых специфических типов программ, например, объектно-ориентированного ПО.

### 3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработать процедуру оценки надежности ПО ИС, которая позволяет осуществлять анализ надежности программного обеспечения по различным показателям, выполнять сравнение надежности разных программных продуктов.

Реализация поставленной цели подразумевает решение следующих задач:

- определение характеристик надежности ПО, их систематизацию;
- разработка требований к надежности ПО;
- разработка метрик, способных ранжировать ПО ИС в соответствии с представлениями пользователей о предпочтении одних программ другим;
- разработка методик оценки надежности, позволяющих контролировать надежность ПО на протяжении всего жизненного цикла ПО.

### 4. Оценивание надежности объектно-ориентированного ПО

Надежность программного обеспечения – понятие статистическое, т. е. предполагается наличие большого количества одинаковых образцов, испытаний. Имеется элемент случайности. На пространстве элементарных событий задается некоторая вероятностная мера. Случайная величина, является функцией, заданной на пространстве элементарных событий. В качестве меры надежности используются характеристики случайной величины – математическое ожидание. Вероятностный подход при изучении надежности состоит в анализе исследуемой программы и построе-

нии, исходя из соображений о ее природе, пространствах элементарных событий, введении на них вероятностной меры и рассмотрении случайных величин.

Объектно-ориентированная программа имеет несколько разных форм: внешние спецификации, исходный текст, исполняемый код. Программа представляет собой объект, инвариантный относительно форм его представления. Внешние спецификации, исходные тексты на языках разных уровней, а также исполняемые коды для разных процессоров есть разные формы представления одной и той же программы. Однако время исполнения относится только к исполняемому коду и зависит от типа процессора.

Надежность объектно-ориентированной программы является характеристикой ее исполняемого кода. Две функционально подобные программы, написанные на разных языках, с точки зрения надежности являются разными. Число ошибок в программе – величина ненаблюдаемая, наблюдаются не сами ошибки, а результат их проявления. Неверный результат программы может быть следствием не одной, а нескольких ошибок. Ошибки могут компенсировать друг друга, после исправления некоторой ошибки программа окажется менее надежной. Надежность характеризует частоту проявления ошибок, но не их количество.

Рассмотрим объектно-ориентированную программу, имеющую один вход и выход. Все возможные результаты выполнения программы разобьем на два класса: правильные и неправильные (ошибочные). Любой результат можно отнести к одному из этих классов. Рассмотрим вероятностную модель последовательности испытаний. Пространство элементарных событий содержит  $2^n$  точек, где  $n$  – число исполнений программы. Каждый запуск программы имеет два исхода: правильный и неправильный. Обозначим вероятность неправильного исхода  $p$ , а вероятность правильного –  $(1-p)$ . Вероятность того, что из  $n$  запусков  $K$  приведут к неправильному результату, выражается следующей формулой:

$$B(p, n, k) = C(n, k) \cdot p^k \cdot (1-p)^{(n-k)}, \quad (1)$$

где  $C(n, k)$  – число сочетаний. Вероятность  $p$  изначально неизвестна, но по результатам исполнения программы известны  $n$  и  $k$ . Величина  $B$  имеет максимум при  $p=k/n$ . В качестве меры надежности программы имеет смысл принять величину  $R=1-k/n=(n-k)/n$ , значения которой согласуются с понятием надежности.

Предположение модели состоит в том, что запуски программы считаются независимыми, результаты предыдущих запусков не дают никакой информации о результатах следующего. Разработчику известна логика программы, так что по результатам запуска с некоторыми исходными данными он может предсказать результаты исполнения с другими исходными данными. Однако для пользователя важно, чтобы объектно-ориентированная программа выполняла требуемые функции.

Таким образом, оценка надежности программы растет с увеличением числа ее запусков по гиперболическому закону. Это подтверждает мысль о том, что

программа тем надежнее, чем больше опыт ее эксплуатации, который зависит от интенсивности использования программы. Ошибка в программе обходится тем дороже, чем позже она обнаружена. Перед пользователем программы, в которой проявились ошибки, возникает проблема: продолжать ее эксплуатировать или установить модифицированную версию. Если программа подвергалась модификациям, то при оценке надежности следует учитывать только запуски, выполненные с момента последней модификации: в результате модификации получается новая программа, с другим показателем надежности. Этим объясняется тот факт, что пользователи предпочитают обновленным версиям программ старые, проверенные, даже если в них обнаружены погрешности: опыт эксплуатации стоит дорого, и даже если в программе выявлены ошибки, дешевле внести исправления и дополнения в инструкции к программе, чем пожертвовать накопленным опытом.

Сравним характеристики надежности аппаратуры и объектно-ориентированной программы. Причина аппаратных отказов – износ или старение, а компонентам ПО они не присущи. Программу нельзя запустить, а их ошибки нельзя выявить без каких-либо исходных данных (кроме синтаксических ошибок, обнаруживаемых трансляторами).

Аппаратные отказы – функция времени работы, программный отказ зависит от выполняемой задачи, от возможности выхода программы на участок, содержащий ошибку. Обнаружение и устранение аппаратных отказов не исключает возможности их повторения в дальнейшем, устраненные программные отказы не повторяются, но могут быть источником новых ошибок.

Прогнозировать программные отказы труднее технических из-за сложности выбора корректных моделей надежности. Отказы аппаратуры бывают внезапными и постепенными, программные отказы – всегда внезапные, и их природа отлична от внезапных аппаратных отказов. Копирование программ не приводит к их ухудшению, редкие ошибки копирования легко обнаруживаются и устраняются.

Коррекция ошибок в программе приводит к изменению ее конфигурации и, как правило, устраняет возможность повторения данной ошибки (хотя может внести новые). Информация, получаемая при исправлении ошибок, не дает возможности предсказать число оставшихся в программе ошибок. Не существует стандартных методов испытания программ, гарантирующих удовлетворение всех поставленных при разработке требований.

### 5. Результаты исследования и их обсуждение

Исследование надежности ПО ИС необходимо вести, основываясь на следующих принципах:

- использование двух уровней при описании понятий и законов качества и надежности: «нижний» этап занимают содержательные определения и понятия, «верхний» – формальные;
- сочетание микроподхода с макроподходом, т. е. сочетание функционального подхода со структурным подходом, учитывающим строение ИС;
- наличие иерархии моделей для исследования качества и надежности функционирования ПО;

– учет субъективной и объективной сторон информации. Количественные оценки качества информации можно получить только с участием экспертов или пользователей, для которых предназначалась информация;

– использование вероятностно-статистического описания для анализа и синтеза информационных процессов;

– иерархия целей: надежность функционирования ПО рассматривается по отношению к достижению целей, сформулированных в «дереве целей», где, в частности, достижение определенной экономической эффективности является одной из целей.

Для создания методики оценки надежности ПО необходимо:

– определить характеристики надежности ПО, которые были бы измеримы и обеспечивали бы достаточно независимую оценку надежности;

– определить точность измерения надежности ПО в целом и его отдельных характеристик;

– наработать методику использования информации о характеристиках надежности ПО для совершенствования процесса его длительной эксплуатации в течение предполагаемого срока службы.

Характер ошибок в ПО ИС может быть различным, а значит и различно их влияние на характеристики надежности ПО. В связи с этим в качестве исходных показателей надежности избраны:

– вероятности  $P_{yi}$  появления ошибки в выходной информации  $i$ -й задачи при ее одноразовом решении за выделенное время;

– математическое ожидание  $m_i$  числа ошибок в выходной информации  $i$ -й задачи при ее одноразовом решении за фиксированное время.

Вероятность  $P_{yi}$  появления ошибки есть вероятность того, что в определенных условиях эксплуатации в выходной информации  $i$ -й задачи при ее одноразовом решении за определенное время появится ошибка. Надежность ПО ИС, состоящего из  $n$  функциональных блоков (задач), предлагается оценивать с помощью вектора

$$(m_1, P_{y1}; m_2, P_{y2}; \dots; m_n, P_{yn}). \quad (2)$$

Можно пользоваться свернутой формой (2) в виде векторов  $(m, P_y)$ .

Значение обобщенного показателя качества ПО по критерию надежности предлагается определять следующим образом:

$$P = \text{Рапп} \prod_{i=1}^n (\alpha_i P_{yi}),$$

где Рапп – показатель надежности аппаратных средств;  $\alpha_i$  – весовой показатель важности  $i$ -го функционального блока ПО;  $n$  – количество функциональных блоков ПО ИС.

Также к показателям надежности можно отнести показатели безотказности ПО. Это наиболее представительная группа показателей, включающая в себя показатели, как общего назначения, так и специфические, присущие только программам. Сюда относятся:

1.  $N_{\text{ош}}$  – математическое ожидание числа ошибок, оставшихся в ПО после его отладки и испытаний

$$N_{\text{ош}} = N - n_{\text{уст}},$$

где  $N$  – прогнозируемое первоначальное число ошибок в ПО;  $n_{\text{уст}}$  – число устраненных ошибок в эксплуатируемом ПО.

2.  $P(t)$  – вероятность безотказной работы программы за заданное время.

3.  $T_o$  – средняя наработка на отказ программы.

По отношению к аномальным ситуациям устойчивость можно характеризовать показателем

$$K_{\text{уст}} = L_a / L,$$

где  $L_a$  – множество защищенных от аномальных ситуаций функций ПО;  $L$  – общее количество функций, выполняемых ПО.

Затраты на устранение ошибок характеризуют временем, необходимым для обнаружения (идентификации) ошибки  $t_{\text{ид}}$  и коррекции ПО  $t_{\text{кор}}$ . В качестве показателя исправляемости ПО берется среднее время исправления ошибки  $T_{\text{исп}}$  рассчитываемое по формуле

$$T_{\text{исп}} = T_{\text{ид}} + T_{\text{кор}}$$

Обеспечивается этот показатель надежности ПО благодаря высокой структурированности программ,

профессиональным приемам программирования, высокому качеству сопровождающей документации.

Таким образом, данные показатели являются предпочтительными при оценке надежности ПО ИС.

## 6. Выводы

1. Был выполнен обзор существующих методов определения характеристик и критериев надежности программного обеспечения информационных систем, установлены их достоинства и недостатки.

2. Предложена процедура оценивания надежности объектно-ориентированных программных средств, учитывающая их специфику. Выбраны показатели надежности; предложены способы вычисления значений показателей, выполнено сравнение надежности программных и аппаратных средств.

3. Предложены показатели, которые рекомендуются использовать для оценки надежности ПО ИС, различные способы их подсчета. Одной из областей применения рассмотренных методов и процедур оценивания надежности ПО может стать сравнительная характеристика разных программных продуктов и выбор того из них, который наиболее надежен и содержит меньшее количество необнаруженных ошибок.

## Литература

1. Боэм, Б. Характеристики качества программного обеспечения [Текст] / Б. Боэм, Дж. Браун, Х. Каспар. – М.: Мир, 1981. – 208 с.
2. Майерс, Г. Надежность программного обеспечения [Текст] / Г. Майерс. – М.: Мир, 1980. – 360 с. – Режим доступа: <http://pc-lib.net/programmirovanie/51194-nadjozhnost-programmnogo-obespecheniy.html/>
3. Тейер, Т. Надежность программного обеспечения. Анализ крупномасштабных разработок [Текст] / Т. Тейер, М. Липов, Э. Нельсон. – М.: Мир, 1981. – 323 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/80443/>
4. Модели надежности программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://works.doklad.ru/view/rdN3bgvQO3s.html>
5. Модель Шика-Волвертона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://textarchive.ru/c-1972122-p14.html>
6. Надежность программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.tehprog.ru/index.php\\_page=lecture13.html](http://www.tehprog.ru/index.php_page=lecture13.html)
7. Надежность программного обеспечения информационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://baumanki.net/lectures/10-informatika-i-programmirovanie/350-nadezhnost-informacionnyh-sistem/4741-13-nadezhnost-programmnogo-obespecheniya.html>
8. Дроботун, Е. Б. Надежность программного обеспечения. Виды и критичность ошибок [Электронный ресурс] / Е. Б. Дроботун. – 2009. – Режим доступа: [http://www.ivtn.ru/2009/pdf/d09\\_04.pdf](http://www.ivtn.ru/2009/pdf/d09_04.pdf)
9. Моисеев, М. Методы оценки надежности ПО [Электронный ресурс] / М. Моисеев. – Режим доступа: <http://kspt.icc.spbstu.ru/media/files/2010/course/softwarequality/lec2.pdf>
10. Василенко, Н. В. Модели оценки надежности программного обеспечения [Текст] / Н. В. Василенко, В. А. Макаров // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. – 2004. – № 28. – С. 126–132. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/modeli-otsenki-nadezhnosti-programmnogo-obespecheniya>

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Хажмурадов М. А.*

*Дата надходження рукопису 22.03.2017.*

**Павленко Евгений Петрович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационно-управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166

**Айвазов Виталий Артемович**, кафедра охраны труда, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166