

УДК 004.42

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОЖИДАЕМОЙ НАДЁЖНОСТИ ПРИКЛАДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

БОРОВИКОВ С. М., КАЗЮЧИЦ В. О.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

E-mail: bsm@bsuir.by

Аннотация. Надёжность компьютерной информационной системы во многом определяется надёжностью разрабатываемого для этой системы прикладного программного обеспечения. На ранних этапах проектирования системы (до написания кода прикладных компьютерных программ) актуальным является оценка ожидаемой надёжности компьютерных программ, что позволит определить вклад прикладного программного обеспечения в ненадёжность проектируемой системы. Для определения ожидаемой эксплуатационной надёжности прикладной компьютерной программы, планируемой к разработке (до написания кода программы), предлагается модель, которая учитывает назначение компьютерной программы и её прогнозный объём, быстродействие процессора, прогнозное значение начального числа ошибок в компьютерной программе и планируемое в дальнейшем тестирование программы.

Abstract. The reliability of computer-based information systems is largely determined by the reliability of the applied software developed for this system. At the early stages of system design (before writing the code of applied computer programs), it is relevant to assess the expected reliability of computer programs, which will allow determining the contribution of applied software to the unreliability of the designed system as a whole. To determine the expected operational reliability of an applied computer program planned for development (before writing the program code), a model is proposed that takes into account the purpose of the computer program and its predicted volume, processor speed, the predicted value of the initial number of errors in the computer program and the planned further testing of the program.

Благодарность. Работа выполнена в рамках договора № Ф20МВ-021 «Статистические модели надёжности прикладных программных средств и их использование для оценки ожидаемой безотказности компьютерных программ на ранних этапах их разработки» на выполнение научно-исследовательской работы в соответствии с решением Научного совета Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (протокол от 22.04.2020, № 1).

Надёжность компьютерных информационных систем, в том числе используемых для цифровой обработки сигналов и машинного обучения, во многом определяется надёжностью прикладного программного обеспечения.

Надёжность программного обеспечения зависит от наличия скрытых ошибок, оставшихся в компьютерных программах после их тестирования и принятия к использованию по функциональному назначению. Компьютерные программы без ошибок являются абсолютно надёжными. Но для современных программ, содержащих сотни тысяч и даже миллионы строк кода абсолютная надёжность практически недостижима. Объясняется это тем, что из-за конечной продолжительности этапа тестирования компьютерной программы нет возможности проверить все условия и пути, по которым может пойти процесс обработки данных. Оставшиеся необнаруженные ошибки могут проявлять себя при определённых условиях использования программы (например, при определённой совокупности исходных данных, и/или режимах ввода или вывода информации).

Для оценки надёжности программного обеспечения необходимо располагать моделью надёжности компьютерных программ. Здесь под моделью специалисты понимают, как правило, математическую модель, показывающую зависимость надёжности программы от некоторых определённых параметров. В число этих параметров включают характеристики будущей компьютерной программы (объём, количество ветвей, категория сложности, степень новизны, процент использования стандартных программных модулей и т.д.), характеристики производственной среды разработки и тестирования программы (специфика проектной организации, квалификация программистов, длительность и степень полноты тестирования и т.д.). Значения указанных характеристик либо предполагаются известными, либо для них получают прогнозные оценки.

Большинство предложенных моделей для оценки надёжности прикладных компьютерных программ носят ограниченный характер и исходят из того, что имеются определённые данные о тестировании компьютерной программы [1–3]. Но разработчики компьютерных информационных систем хотели бы знать ожидаемый уровень надёжности прикладных компьютерных программ на ранних этапах их разработки (до написания кода). Поэтому актуальным является вопрос, как оценить надёжность прикладных компьютерных программ в таких случаях.

В соответствии с ГОСТ 27.205-1997 об ожидаемой надёжности разрабатываемой компьютерной программы будем судить по интенсивности проявления скрытых ошибок, оставшихся в программе после её разработки и тестирования. Эту интенсивность (обозначим через λ) будем рассматривать в качестве интенсивности отказов компьютерной программы.

Большинство моделей надёжности компьютерных программ исходят из того, что интенсивность отказов λ прямо пропорциональна числу оставшихся в программе ошибок [3]. С учётом этого в работе [4] эксплуатационная интенсивность отказов $\lambda_{\text{экс}}$ компьютерной программы представлена в виде

$$\lambda_{\text{экс}} = C_{\text{п}} N_0 = C_{\text{п}} F_0 L = K_{\text{пр}} F_0 = K_{\text{пр}} \frac{N_0}{L}, \quad (1)$$

где $C_{\text{п}}$ – коэффициент пропорциональности; N_0 – начальное число оставшихся ошибок в компьютерной программе; F_0 – плотность ошибок компьютерной программы после написания её кода и устранения нарушений правил языка программирования (среднее число ошибок, приходящихся на строку кода: $F_0 = N_0 / L$); L – объём компьютерной программы в исполняемых строках кода; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент преобразования, показывающий как начальное число ошибок N_0 или, что тоже самое, плотность ошибок F_0 трансформируются в эксплуатационную интенсивность отказов $\lambda_{\text{экс}}$.

На основе экспериментальных данных, приводимых в работе [4], для компьютерных программ некоторых областей применения получены значения коэффициента преобразования $K_{\text{пр}}$ (табл. 1).

Таблица 1. Надёжность прикладных компьютерных программ

Область применения компьютерной программы	Среднее число ошибок, приходящееся на одну программу [4]	Средняя эксплуатационная интенсивность отказов $\lambda_{\text{экс}}$, 1/ч [4]	Значение $K_{\text{пр}}$, строка кода / ошибок в час	Коэффициент C , 1/ошибка	Коэффициент K_{Σ}
1. Авиация	1004	0,08	6,28	$1,246 \cdot 10^{-7}$	5,23
2. Мониторинг и обеспечение безопасности	769	0,0109	1,2	$0,238 \cdot 10^{-7}$	1,00
3. Телекоммуникации, мобильные электронные устройства	141	0,108	13,8	$2,738 \cdot 10^{-7}$	11,5
4. Управление производственными процессами	140	0,0076	3,8	$0,754 \cdot 10^{-7}$	3,17
5. Автоматизированные системы управления	1932	0,198	23	$4,563 \cdot 10^{-7}$	19,2
6. Инструменты разработки программ, моделирование, испытательные стенды, обучение	451	0,236	16,9	$3,353 \cdot 10^{-7}$	14,1
Среднее	946	0,1	10,6	$2,103 \cdot 10^{-7}$	8,83

Приведённые в табл. 1 коэффициенты $K_{\text{пр}}$ соответствуют случаю выполнения программ на компьютере с процессором, имеющим быстродействие 10 миллионов операций/с.

Согласно экспериментальным данным [4], для рассматриваемых прикладных компьютерных программ при суммарной продолжительности их тестирования, составляющей примерно 40 процентов

общего времени, отводимого на разработку, и использовании общепринятых методов тестирования, интенсивность отказов компьютерных программ за счёт выполнения тестирования уменьшалась примерно в 50 раз относительно их начальной интенсивности отказов λ_0 ($\lambda_0 / \lambda_{\text{тк}} \approx 50$). Тогда с учётом выражения (1) можно записать

$$\lambda_0 = 50 K_{\text{пр}} \frac{N_0}{L}. \quad (2)$$

Известно [4], что на вероятность возникновения отказа программы при её использовании по функциональному назначению влияют три внешние характеристики среды выполнения программы:

- быстродействие процессора (производительность компьютера);
- степень изменчивости входных данных и состояний управления компьютером;
- рабочая нагрузка, которую эксплуатационная среда будет оказывать на компьютерную программу.

Начальная интенсивность отказов компьютерной программы (до начала тестирования) с учётом быстродействия процессора компьютера может быть определена по модели Муса [3]:

$$\lambda_0 = C V N_0 = 3600 C \frac{0,7R}{B} N_0 = 2520 C \frac{R}{B} N_0, \quad (3)$$

где C – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом проявления ошибок компьютерной программы; V – средняя скорость выполнения команд компьютерной программы (представляет собой возможное число прогонов компьютерной программы в течение одного часа); R – пиковое быстродействие процессора, указываемое производителем в технической документации, размерность: операций/с; B – количество команд (операторов) в компьютерной программе; множитель 3600 – коэффициент учёта быстродействия процессора в размерности «операций/ч»; множитель 0,7 – средний коэффициент, учитывающий реальное быстродействие процессора относительно пикового значения R ; $V_{\text{пик}}$ – пиковая скорость выполнения команд компьютерной программы, определяемая отношением $V_{\text{пик}} = R/B$.

Примерное значение числа команд B можно определить как

$$B = E_L L,$$

где E_L – коэффициент расширения кода (характеризует увеличение числа команд компьютерной программы относительно числа строк кода).

В случае неопределённости можно считать, что одна строка кода компьютерной программы транслируется в 10 машинных команд, т. е. $E_L = 10$ [5].

Используя выражения (2) и (3), с учётом значений $K_{\text{пр}}$, приведённых в таблице 1, определены средние значения коэффициента проявления ошибок C для компьютерных программ некоторых областей применения (см. таблицу 1, 5-й столбец).

Информация о влиянии изменчивости исходных данных и нагрузки на программу со стороны эксплуатационной среды содержится в коэффициенте C выражения (3). Представим коэффициент C в виде произведения

$$C = C_B \cdot K_{\text{вх}} \cdot K_{\text{н}} = C_B \cdot K_{\Sigma}, \quad (4)$$

а величины, входящие в выражение (4), будем называть как: C_B – базовый коэффициент проявления ошибок программы; $K_{\text{вх}}$ – коэффициент увеличения интенсивности отказов за счёт изменчивости входных данных; $K_{\text{н}}$ – коэффициент увеличения интенсивности отказов за счёт рабочей нагрузки на программу; K_{Σ} – суммарный коэффициент увеличения интенсивности отказов, обусловленный совместным действием изменчивости входных данных и рабочей нагрузки на компьютерную программу.

В качестве базового значения коэффициента проявления ошибок C_B примем коэффициент C для прикладных компьютерных программ, предназначенных для мониторинга и обеспечения безопасности. Пользуясь таблицей 1, можно записать: $C_B = 0,238 \cdot 10^{-7}$ 1/ошибка. Для программ этого назначения $K_{\Sigma} = 1,0$. В таблице 1 (6-й столбец) приведены рассчитанные значения коэффициента K_{Σ} для прикладных компьютерных программ других областей применения.

Будем считать, что интенсивность отказов компьютерной программы после выполнения её тестирования уменьшается в Q раз относительно начальной интенсивности отказов λ_0 . Величина Q показывает, во сколько раз за счёт тестирования уменьшится число оставшихся ошибок в

компьютерной программе относительно начального их числа (до выполнения тестирования), поэтому величину Q будем называть коэффициентом эффективности тестирования компьютерной программы. Используя выражения (3), (4) и принимая во внимание значение коэффициента $C_B = 0,238 \cdot 10^{-7}$ 1/ошибка, модель определения ожидаемой интенсивности отказов компьютерной программы, прошедшей тестирование ($\lambda_{\text{экс}}^{(i)}$), может быть представлена в виде

$$\lambda_{\text{экс}}^{(i)} = \frac{1}{Q} \left(2520 C^{(i)} \frac{R}{B} N_0^{(i)} \right) = \frac{60}{QB} K_{\Sigma}^{(i)} R N_0^{(i)} \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}, \quad (5)$$

где верхний индекс (i) указывает на то, что соответствующие характеристики относятся к компьютерным программам i -й области применения (см. таблицу 1).

В модель (5) значение R необходимо подставлять в размерности операций/с.

Для получения прогнозного значения параметра N_0 модели (5) рекомендуется обратиться к работам [6, 7], согласно которым значение N_0 определяется как функциональным назначением программы и прогнозным числом строк кода, так и характеристиками самой прикладной компьютерной программы и характеристиками производственной среды её разработки.

Значение коэффициента эффективности тестирования Q может быть определено экспертным методом в зависимости от предполагаемой продолжительности и технологии тестирования, а также опыта и квалификации тестируемых. Согласно [4], в случае общепринятых методов тестирования при продолжительности, составляющей не менее 40 процентов общего времени, отводимого на разработку компьютерной программы, может быть принято $Q \approx 50$.

Используя полученную модель надёжности (5), можно приближённо оценить ожидаемую надёжность планируемой к разработке прикладной компьютерной программы. Во многих случаях такой ориентировочный расчёт полезен, так как позволяет на раннем этапе разработки компьютерной программы получить представление о её ожидаемой надёжности и, следовательно, оценить надёжность компьютерной информационной системы.

Список использованных источников

1. Лю, М. Р. Справочник по надёжности программного обеспечения / М. Р. Лю. – Нью-Йорк: McGraw-Hill, 1996. – 805 с.
2. Prasad, C.M. Overview of Software Reliability Models / C. M. Prasad, Lilly Flowrence, C.V. Srikrishna // International Journal of Engineering and Management Research, October-2013. – Vol. 3. – Issue 5. – pp. 11–15. Available at: www.ijemr.net (accessed 17 October 2020).
3. Шубинский, И. Б. Функциональная надёжность информационных систем. Методы анализа / И. Б. Шубинский. – Москва : «Журнал Надёжность», 2012. – 296 с.
4. McCall, J. A. Software reliability, measurement, and testing guidebook for software reliability measurement and testing / J. A. McCall [et al.] // Final Technical Report, Vol II (of two); RL-TR-92-52. – Science Applications International Corp., Research Triangle Institute: Rome Laboratory, NY 13441-5700, 1992. – 256 p. Available at: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a256164.pdf> (accessed 17 October 2020).
5. Чуканов, В. О. Надёжность программного обеспечения и аппаратных средств систем передачи данных атомных электростанций : учебное пособие / В. О. Чуканов. – М. : МИФИ, 2008. – 168 с.
6. Возможный подход к оценке надёжности разрабатываемых программных средств на ранних этапах проектирования информационно-компьютерных систем / С. М. Боровиков [и др.] // Globus: технические науки – от теории к практике : сборник научных публикаций. – 2020. – Вып. 1 (32). – С. 4–9. Режим доступа : https://globus-science.ru/Archive/new/Technicheskie_nauki_march_2020.pdf (дата доступа: 17 октября 2020).
7. Модель прогнозирования надёжности планируемых к разработке прикладных компьютерных программ / С. М. Боровиков [и др.] // Интернаука: научный журнал. – 2020. – № 12 (141), Ч. 1. – С. 68–72.