

УДК [004.42-027.45]:61

## НАДЁЖНОСТЬ ПРИКЛАДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ КАК ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ

С.М. БОРОВИКОВ, С.К. ДИК, С.С. ДИК

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники (Минск, Республика Беларусь)»*

**Аннотация.** В работе обсуждаются общие вопросы обеспечения эксплуатационной надёжности электронных систем медицинского назначения. На основе анализа работ в открытой печати установлено, что в качестве основной характеристики безошибочности выполнения прикладной компьютерной программой своих функций в электронной системе медицинского назначения можно рассматривать вероятность того, что компьютерная программа правильно выполнит обработку одного произвольного набора исходных данных из числа наборов, которые могут поступать при выполнении электронной системой лечебных и/или диагностических процедур. Рассматриваются подходы к обеспечению эксплуатационной надёжности прикладных компьютерных программ, которые планируются к разработке для использования в составе таких электронных систем. Показано, как может быть спрогнозирована эксплуатационная интенсивность отказов компьютерной программы до начала процесса её разработки и описана применяемая для достижения этой цели математическая модель надёжности компьютерной программы. Приводятся рекомендации по выбору метрик, рассматриваемых в качестве поправочных коэффициентов для интенсивности отказов компьютерной программы.

**Ключевые слова:** электронная система медицинского назначения, прикладная компьютерная программа, эксплуатационная надёжность, модель надёжности компьютерной программы.

## RELIABILITY OF APPLIED COMPUTER PROGRAMS AS A FACTOR OF THE EFFECTIVE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN MEDICINE

SERGEI M. BOROVIKOV, SERGEI.K DICK, SERGELS. DICK

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
(Minsk, Republic of Belarus)*

**Abstract.** The paper discusses general issues of ensuring the operational reliability of electronic medical systems. Based on the analysis of works in the open press, it has been established that, as the main characteristic of the error-free performance of an application computer program of its functions in an electronic medical system, one can consider the probability that the computer program will correctly process one arbitrary set of initial data from among the sets that can come with performing medical and/or diagnostic procedures by the electronic system. Approaches to ensuring the operational reliability of applied computer programs that are planned to be developed for use as part of such electronic systems are considered. It is shown how the operational failure rate of a computer program can be predicted before the start of its development process, and the mathematical model of computer program reliability used to achieve this goal is described. Recommendations are given on the choice of metrics considered as correction factors for the failure rate of a computer program.

**Keywords:** medical electronic system, applied computer program, operational reliability, computer program reliability model.

### Введение

В электронных системах медицинского назначения, использующих компьютерную технику и достижения информационных технологий, можно выделить три основные составляющие части:

- электронное лечебно-диагностическое оборудование, включающее встроенную и/или автономную компьютерную технику;
- программное обеспечение, включающее совокупность системных и прикладных компьютерных программ;
- технический персонал, обслуживающий оборудование, включая компьютерную технику, и медицинский персонал, использующий оборудование совместно с компьютерной техникой для выполнения диагностических и/или лечебных процедур.

При оценке ожидаемой надёжности проектируемых компьютерных систем медицинского назначения важно учесть надёжность трёх её составных функциональных частей. Тенденция перехода в Республике Беларусь на импорт замещение предполагает создание отечественных компьютерных систем медицинского назначения. Возникает вопрос о проектной надёжности таких компьютерных систем.

В самом общем виде структурная схема надёжности (ССН) компьютерной системы медицинского назначения имеет вид, показанный на рис. 1. Эта схема является моделью надёжности системы. Если хотя бы одна из частей системы неработоспособна, то при переходе от точки *a* к точке *b* на схеме отсутствует замкнутый путь. Это означает, что отказ любой из указанных частей приводит к отказу системы в целом, что символизируется разрывом цепи на ССН компьютерной системы. Функциональные части системы на схеме обозначены прямоугольниками, в которые записан примерный вклад соответствующей функциональной части в ненадёжность компьютерной системы.

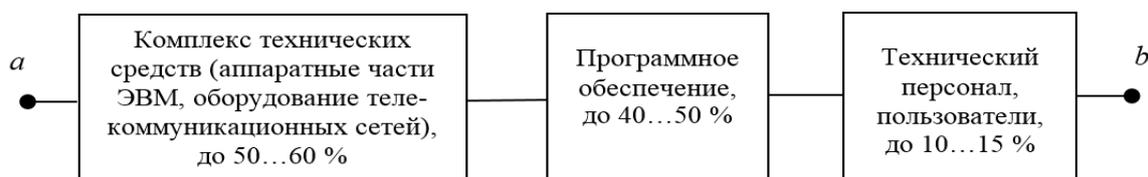


Рис. 1. Структурная схема надёжности компьютерной системы медицинского назначения

### Этапы проведения исследования

На основе анализа установлено, что к настоящему времени методы оценки надёжности комплекса технических средств достаточно хорошо разработаны. Для ознакомления с подходами и методиками, которые могут быть использованы для расчёта надёжности аппаратных частей компьютерной техники и лечебно-диагностического оборудования, можно обратиться к зарубежному источнику [1], российскому справочнику [2] или отечественной работе [3]. Достигнут определённый уровень в разработке подходов к оценке надёжности технического персонала и пользователей (в нашем случае медицинских работников) при их взаимодействии с комплексом технических средств и программным обеспечением системы медицинского назначения. С методологией и описанием этих подходов можно ознакомиться в зарубежной [4] или российской [5] литературе.

Используемое для компьютерной техники системное программное обеспечение разработано ведущими мировыми IT-компаниями, обладает достаточно высоким уровнем надёжности и экономически его целесообразно заимствовать (покупать). Прикладные компьютерные программы являются объектно-ориентированными и должны разрабатываться отечественными IT-специалистами.

Возможные отказы разрабатываемых прикладных компьютерных программ объясняются следующим. Из-за многофункциональности и специфики решения медицинских задач объём компьютерных программ оказывается очень большим (десятки тысяч и более строк программного кода). На этапе тестирования не удаётся в проектные сроки проверить правильность работы всех ветвей и возможных трасс обработки входных данных с учётом большой степени их изменчивости. При тестировании и отладки прикладных компьютерных программ выявляются наиболее критичные ошибки с точки зрения выполнения программами своих функций. По этой причине в компьютерной программе, прошедшей тестирование,

остаются скрытые ошибки. И в зависимости от характера исходной информации и трасс обработки данных эти скрытые ошибки могут себя проявить. Уместно привести пример: компьютерную программу, выполняющую функцию оперативной системы Windows, тестировали 100 программистов в течение трёх лет. И тем не менее, по оценке специалистов в ней имеется примерно 200 скрытых ошибок. При использовании компьютера по его функциональному назначению эти скрытые ошибки иногда себя проявляют, что вызывает необходимость перезагрузки операционной системы. Проявление ошибки (отказ) в прикладной компьютерной программе в нашем случае приведёт к срыву выполнения лечебно-диагностической процедуры и может вызвать дополнительных проблемы для пациента.

Большинство моделей надёжности компьютерных программ (оценочные и измерительные) исходят из того, что имеются определённые данные о результатах тестирования разработанной компьютерной программы после устранения в ней ошибок, вызванных нарушениями правил языка программирования [6]. Прогнозирующие модели надёжности, такие как модель Холстеда и Мотли-Брукса основаны на экспертной оценке характеристик создаваемой компьютерной программы: размер, количество операторов, количество и типы переменных (операндов), характеристики интерфейсов и др. [7]. Эти модели позволяют спрогнозировать ожидаемый уровень надёжности планируемых к разработке компьютерных программ. Однако на практике в большинстве случаев возникает проблема с определением характеристик будущей прикладной компьютерной программы. Обычно перед разработкой программного средства для компьютерной системы медицинского назначения удаётся относительно чётко указать функциональное назначение и область применения программного средства, а также спрогнозировать примерный объём его прикладной компьютерной программы в строках программного кода. Важным является вопрос, как оценить надёжность прикладной компьютерной программы в таких случаях. Решение этого вопроса рассматривалось в работе [8].

### Результаты и их обсуждение

Установлено, что в качестве основной характеристики безошибочности выполнения прикладной компьютерной программой своих функций можно рассматривать вероятность того, что компьютерная программа правильно (безошибочно) выполнит обработку одного произвольного набора исходных данных из числа наборов, которые могут поступать в условиях функционирования компьютерной программы в составе электронной системы медицинского назначения. Эту вероятность  $p_1$  согласно [7] определяют по экспоненциальной функции:

$$p_1 = \exp(-\lambda_{\text{экс}} \cdot t_1), \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{экс}}$  – эксплуатационная интенсивность отказов компьютерной программы;  $t_1$  – среднее время обработки компьютерной программой одного набора исходных данных.

Вероятность  $p_1$ , рассчитываемая по формуле (1), отражает число оставшихся в компьютерной программе скрытых ошибок и их размещение в структуре программы, изменчивость реального потока наборов исходных данных на входе компьютерной программы и нагрузку на компьютерную программу со стороны эксплуатационной среды (загрузка и выгрузка программы из памяти, нахождение операций ввода-вывода в очереди, наличие состояний ожидания и т.д.).

Уточнив интенсивность обращения к компьютерной программе, т. е. среднее число сеансов («прогонов») программы за один час  $\eta$  (1/ч) в процессе функционирования компьютерной системы медицинского назначения, можно определить вероятность того, что оставшиеся дефекты в компьютерной программе не проявятся в течение заданного календарного времени  $\tau$ :

$$P(\tau) = (p_1)^{\eta \cdot \tau}. \quad (2)$$

Если значение вероятности  $P(\tau)$ , полученное по выражению (2), не отвечает требованиям заказчика, то как выход из положения, следует предпринять меры по увеличению вероятности  $p_1$ , определяемой по формуле (1), путём уменьшения интенсивности отказов  $\lambda_{\text{экс}}$  компьютерной программы за счёт её дополнительного тестирования.

В работе [8] показано, что эксплуатационная интенсивность отказов компьютерной программы  $\lambda_{\text{экс}}$  может быть спрогнозирована до начала процесса её разработки. Модель для прогнозирования  $\lambda_{\text{экс}}$  имеет вид

$$\lambda_{\text{экс}} = \frac{60}{Q} \cdot \frac{R_{\text{пик}}}{B} K_{\Sigma} \cdot A \cdot D \cdot K_{\text{слож}} \cdot K_{\text{С.Р}} \cdot K_{\text{нов}} \cdot K_{\text{мод}} \cdot L \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}, \quad (3)$$

где  $Q$  – коэффициентом эффективности тестирования компьютерной программы;  $R_{\text{пик}}$  – пиковое быстродействие процессора, указываемое производителем в технической документации, размерность: операций в секунду;  $B$  – прогнозируемое число команд (операторов) в компьютерной программе;  $K_{\Sigma}$  – суммарный коэффициент увеличения интенсивности отказов, обусловленный совместным действием изменчивости входных данных и рабочей нагрузки на компьютерную программу;  $A$  – средняя или базовая плотность ошибок для компьютерных программ, используемых в данной отрасли, области применения;  $D$  – метрика (коэффициент), учитывающая производственную среду разработки программного обеспечения: особенность организации, разрабатывающей компьютерную программу, характеристику группы программистов, их квалификацию;  $S_i$  – метрики, учитывающие характеристики планируемой к разработке компьютерной программы:  $K_{\text{слож}}$  – коэффициент, учитывающий категорию сложности компьютерной программы;  $K_{\text{С.Р}}$  – коэффициент, учитывающий используемые средства разработки компьютерной программы;  $K_{\text{нов}}$  – коэффициент, учитывающий степень новизны компьютерной программы;  $K_{\text{мод}}$  – коэффициент, характеризующий степень использования стандартных модулей в компьютерной программе;  $L$  – объем компьютерной программы в исполняемых строках программного кода.

В табл. 1 указываются значения и/или диапазоны изменения коэффициентов  $K_{\Sigma}$ ,  $A$ ,  $D$ ,  $K_{\text{слож}}$ ,  $K_{\text{С.Р}}$ ,  $K_{\text{нов}}$ ,  $K_{\text{мод}}$ ,  $Q$  модели (3) и литературные источники выбора их конкретных значений.

**Таблица 1.** Выбор значений коэффициентов

Коэффициент	Значение (диапазон)	Литературный источник
$K_{\Sigma}$	8,83	[8]
$A$	0,0087 ошибка/строка кода	[8]
$D$	0,35...4,0	[8–10]
$K_{\text{слож}}$	1,0...1,47	[9–11]
$K_{\text{С.Р}}$	0,19...1,0	[8, 10, 11]
$K_{\text{нов}}$	0,63...1,58	[10, 11]
$K_{\text{мод}}$	0,55...1,0	[8, 9–11]
$Q$	Выбирается с учётом обеспечения эксплуатационной интенсивности отказов компьютерной программы	[12]

В табл. 1 для коэффициентов  $K_{\Sigma}$  и  $A$ , согласно [8], указаны средние значения.

### Заключение

Использование в составе электронных систем медицинского назначения прикладных компьютерных программ высокого уровня надёжности является важным фактором эффективного использования информационных технологий при выполнении лечебно-диагностических процедур. Описанный в работе подход даёт приближенные результаты ожидаемой надёжности разрабатываемой прикладной компьютерной программы для электронной системы медицинского назначения. Однако даже такой ориентировочный расчёт полезен, так как позволяет получить представление о надёжности медицинской компьютерной системы на раннем этапе её разработки и при необходимости определить организационно-технические мероприятия по обеспечению требуемой надёжности системы.

### **Список литературы**

1. Denson W.K. Reliability Prediction Models. Notice 1: HDBK-217Plus™. 2nd ed. Washington: Quanterion Solutions Incorporated; 2015.
2. Прытков С.Ф., Горбачева В.М., Мартынова М.Н., Петров Г.А. Надёжность электrorадиоизделий, 2006: справочник. Москва: ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ»; 2008.
3. Боровиков С.М., Шнейдеров Е. Н., Матюшков В. Е., Цырельчук И.Н. Разработка методики прогнозирования надёжности электронных устройств для системы АРИОН. Доклады БГУИР. 2011; 4 (58): С. 93-100.
4. Hollnagel, E. Human Reliability Analysis: Context and Control. London: Academic Press; 1993.
5. Бодров В.А., Орлов В.Я. Психология и надёжность: человек в системах управления техникой. Москва: Изд-во «Институт психологии РАН»; 1998.
6. Лю М.Р. Справочник по надёжности программного обеспечения. Нью-Йорк: McGraw-Hill; 1996.
7. Шубинский И. Б. Функциональная надёжность информационных систем. Методы анализа. Москва: «Журнал Надёжность»; 2012.
8. Боровиков С.М., Казючиц В.О., Хорошко В.В., Дик С.С., Клинов К.И. Оценка ожидаемой надёжности прикладных программных средств для компьютерных информационных систем. Информатика. 2021; 1: С. 84-95. DOI
9. Боровиков С.М., Дик С.С., Лэ Ван Там, Клинов К.И. Возможный подход к оценке надёжности разрабатываемых программных средств на ранних этапах проектирования информационно-компьютерных систем. Globus: технические науки – от теории к практике: сборник научных публикаций. 2020;.
10. Боровиков С.М., Дик С.С. Метод оценки ожидаемой надёжности прикладных компьютерных программ систем медицинской электроники. Доклады БГУИР. 2018; 7(117): С. 112–117.
11. Боровиков С.М., Дик С.С., Лэ Ван Там, Клинов К.И. Модель прогнозирования надёжности планируемых к разработке прикладных компьютерных программ. Интернаука. 2020; 12(141). Ч. 1: С. 68-72.
12. Боровиков С.М., Казючиц В.О., Дик С.К., Дик С.С. Методика обеспечения эксплуатационной надёжности планируемых к разработке прикладных компьютерных программ для информационных систем. Сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня, Минск, 11-12 мая 2022 года. Минск: БГУИР; 2022: С. 162-173.