

УДК 004.052

Ю.Л. Поночовный

Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ», Полтава

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

*В статье рассмотрено построение многофрагментных моделей функционирования информационных систем, позволяющих описать изменение интенсивности отказов программных средств на разных этапах жизненного цикла. Представленные модели позволяют описывать как увеличение, так и уменьшение интенсивностей проявления программных дефектов и восстановления системы после отказов*

**Ключевые слова:** информационные системы, программные средства, дефекты проектирования, интенсивности отказов и восстановления, многофрагментные модели, вложенная марковская цепь.

### Введение

**Постановка проблемы.** Современные информационные системы (ИС) принято рассматривать в аспекте составляющих аппаратных средств (АС) и программных средств (ПС), к которым выдвигаются повышенные требования к качеству обслуживания, а соответственно и к надежности (что особенно существенно для критических систем). Нарушение работоспособности ИС может быть вызвано проявлением физических дефектов (ДФ) элементов АС, а также дефектов проектирования и производства (ДП), прежде всего ПС, которые оказались не обнаруженными в процессе отладки и испытаний, а появились при использовании систем по назначению. По оценкам специалистов, 20 – 70% случаев нарушения функционирования сложных систем обуславливается ДП, не выявленными при отладке программ [1]. Вследствие этого активно используются различные методы устранения ДП, которые на определенных этапах жизненного цикла системы могут обусловить как уменьшение, так и увеличение интенсивности потока отказов ПС ИС.

**Анализ литературных источников.** Анализ литературных источников [2, 3] показал, что при оценивании надежности сложных ИС основное внимание уделяется моделям функционирования аппаратной компоненты с учетом мероприятий восстановления и техобслуживания. Что касается исследований, связанных с использованием и совершенствованием ПС ИС, то в работах [4, 5] авторы ограничились анализом надежности их исходного варианта без учета изменений параметра интенсивности отказов при устранении программных дефектов. В работе [6] рассматривается моделирование «старения» ПС (software aging) на основе аппарата нейронных сетей, а в [7] – процессы обновления ПС в процессе эксплуатации на основе многофрагментных марковских моделей.

Несмотря на наличие комплекса марковских и многофрагментных моделей надежности (МН), су-

ществует необходимость разработки МН ПС ИС, позволяющей описать функционирование системы на этапе приработки.

Таким образом, целью статьи является разработка указанной модели, которая должна описывать варианты как уменьшения, так и увеличения интенсивности проявления ДП ПС.

### 1. Построение макрографов функционирования информационных систем

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что для адекватного моделирования ИС при изменении параметров потоков отказов и восстановлений необходимо использовать вложенные марковские цепи (ВМЦ). Для случая изменения интенсивности отказов ПС в работе [8] предложено использовать принцип многофрагментности. Он заключается в представлении звеньев ВМЦ в виде совокупности повторяющихся фрагментов, отличающихся одним или несколькими параметрами.

При этом возможны следующие варианты изменения параметров проявления ДП ПС:

- интенсивность проявления ДП ПС постоянна  $\lambda_{\text{дп}} = \text{const}$ ;
- интенсивность восстановления после проявления ДП ПС постоянна  $\mu_{\text{вп}} = \text{const}$ ;
- интенсивность проявления ДП ПС непостоянна  $\lambda_{\text{дп}} = \text{var}$ , при этом величина изменения интенсивности проявления ДП ПС постоянна  $\Delta\lambda_{\text{дп}} = \text{const}$ ;
- интенсивность восстановления после проявления ДП ПС непостоянна  $\mu_{\text{вп}} = \text{var}$ , при этом  $\Delta\mu_{\text{вп}} = \text{const}$ .

В графическом представлении изменение параметров изображается в виде перехода между фрагментами макрографов [8]. На рис. 1 представлен макрограф функционирования двухканальной одноверсионной структуры ( $S_{21}$ ) ИС, который включает множество фрагментов  $M_{\Phi} = \{\Phi_{\text{н}}, M(\Phi_{\text{вн } i}, i \in 1 \dots n)\}$ ,

$\Phi_k\}$ , где  $\Phi_n$  – начальный фрагмент;  $M(\Phi_{вн i}, i \in 1..n)$  – подмножество внутренних фрагментов;  $\Phi_k$  – конечный фрагмент.

Переход из одного фрагмента в другой определяется сменой состояний после восстановления ИС из-за отказа ПС [8] (переход, обозначенный параметром  $\mu_{вп}$ ). В общем (предельном) случае  $\Phi_n$  соответствуют параметры  $\lambda_{дф}, \lambda_{дп}, \mu_{дф}, \mu_{вп}$ ;  $\Phi_{вн i}$  соответствуют параметры  $\lambda_{дф}, \lambda_{дп(i)} = [\lambda_{дп(0)} - (i-1)\Delta\lambda_{дп}]$ ,  $\mu_{дф}, \mu_{вп}$ ,  $i \in 1..n$ ;  $\Phi_k$  соответствуют параметры  $\lambda_{дф}, \mu_{дф}$  и  $\lambda_{дп} = 0$ .

Момент начала функционирования системы описывается исходным фрагментом.

Переход к внутренним фрагментам определяется последовательностью событий, которые заключаются в проявлении ДП ПС и восстановлении ПС после их проявления [8]. Переходы между внутренними фрагментами определяются параметром  $\mu_{вп}$ . При этом  $\mu_{вп}$  остается величиной постоянной. В последнем фрагменте все ДП ПС устранены и функционирование системы определяется параметрами  $\lambda_{дф}, \mu_{дф}$ .

Макрограф двухканальной одноверсионной ИС, описывающий изменение параметров  $\lambda_{дп}$  и  $\mu_{вп}$  представлен на рис. 2.

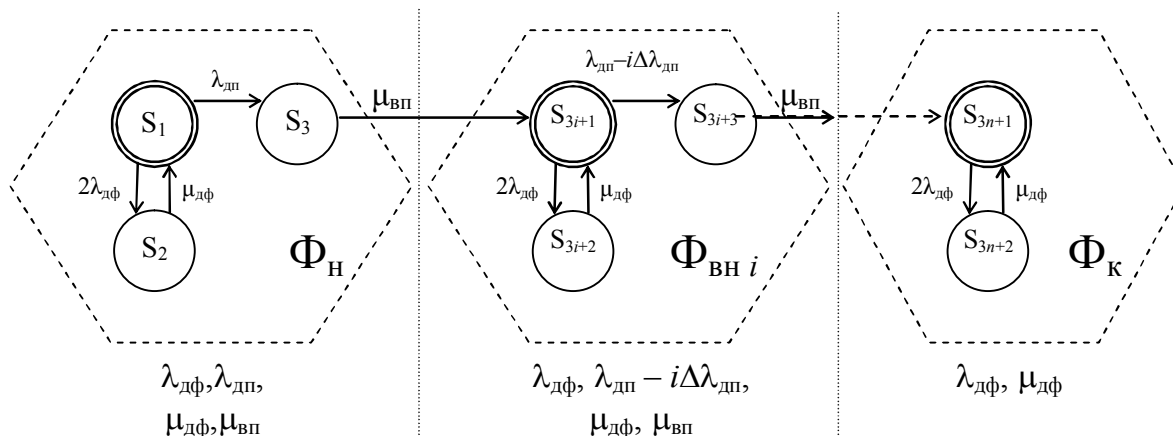


Рис. 1. Макрограф функционирования двухканальной одноверсионной ИС для комбинации параметров:  $\lambda_{дп} = \text{var}; \mu_{вп} = \text{const}; \Delta\lambda_{дп} = \text{const}; \Delta\mu_{вп} = 0$

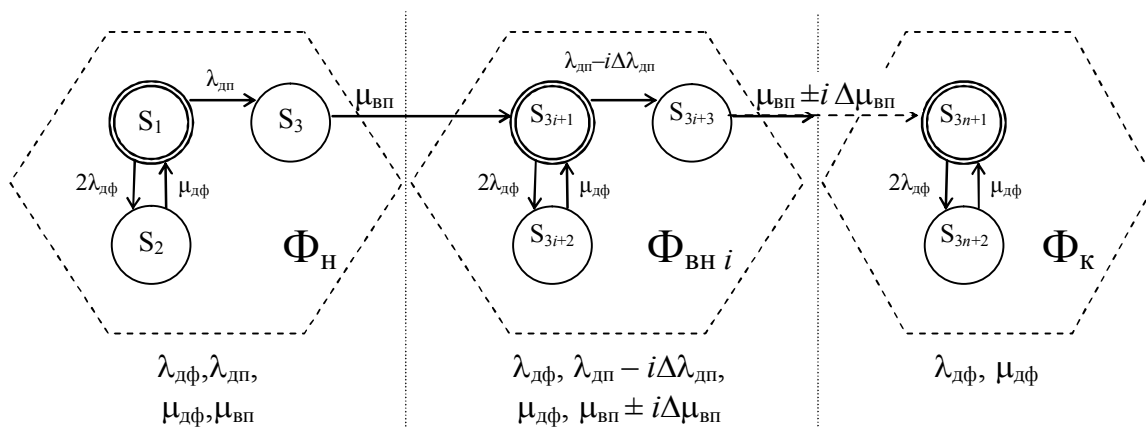


Рис. 2. Макрограф функционирования двухканальной одноверсионной ИС для комбинации параметров:  $\lambda_{дп} = \text{var}; \mu_{вп} = \text{var}; \Delta\lambda_{дп} = \text{const}; \Delta\mu_{вп} = \text{const}$

В модели предполагаются два варианта изменения параметра  $\mu_{вп}$ :

– «оптимистический», когда среднее время высева ДП после его проявления уменьшается и параметр  $\mu_{вп}$  увеличивается на  $\Delta\mu_{вп}$  (это может объясняться повышением уровня квалификации команды программистов, специализирующейся на устранении ДП [9]);

– «пессимистический», когда среднее время высева ДП увеличивается и параметр  $\mu_{вп}$  уменьшается на  $\Delta\mu_{вп}$  (этот вариант характерен для случаев, когда постепенно проявляются разнородные ДП,

для каждого из которых требуется разработка отдельной процедуры устранения [9]). При этом, исходя из конечного объема ПС, параметр  $\mu_{вп}$  уменьшается до некоторой величины  $\mu_{вп \text{ min}}$  которая характеризует наименее благоприятный вариант устранения ДП.

## 2. Марковское моделирование информационных систем

Для непосредственных вычислений количественных значений показателей надежности необходимо развернуть макрографы в размеченную ВМЦ

функционирования системы. На рис. 3 представлен пример ВМЦ, полученной при развертывании макрографа функционирования системы  $S_{21}$  из рис. 1.

ВМЦ содержит следующие состояния:

$SF_1 = \{S_1, S_4, \dots, S_{3n+1}\}$  – множество состояний, в которых система работоспособна. Исходные состояния для всех видов фрагментов (начального, внутренних и конечного);

$SF_2 = \{S_2, S_5, \dots, S_{3n+2}\}$  – множество состояний, в которых произошел отказ одного из каналов АС;

$SF_3 = \{S_3, S_6, \dots, S_{3n+3}\}$  – множество состояний, в которых произошел отказ ПС.

Исследование представленных ВМЦ на предмет получения количественных значений показателя надежности проводится с применением численных методов решения систем линейных дифференциальных уравнений (СЛДУ).

В ходе проведения исследований были рассмотрены двухканальные одно- и двухверсионные структуры ИС (рис. 4).

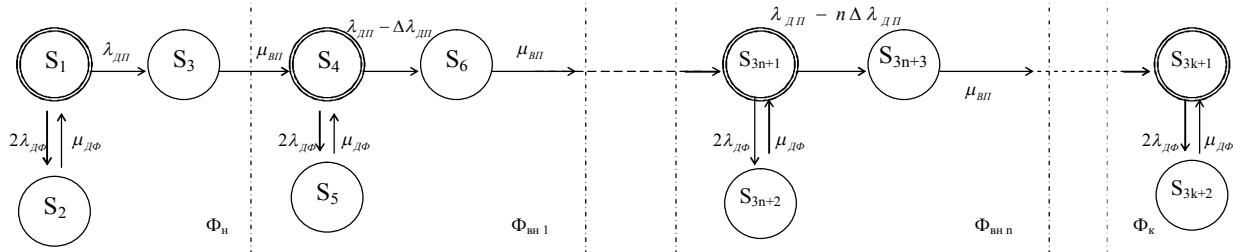


Рис. 3. Размеченный граф (ВМЦ) функционирования ИС  $S_{21}$  для комбинации параметров:  $\lambda_{дп} = \text{var}$ ;  $\mu_{вп} = \text{const}$ ;  $\Delta\lambda_{дп} = \text{const}$ ;  $\Delta\mu_{вп} = 0$

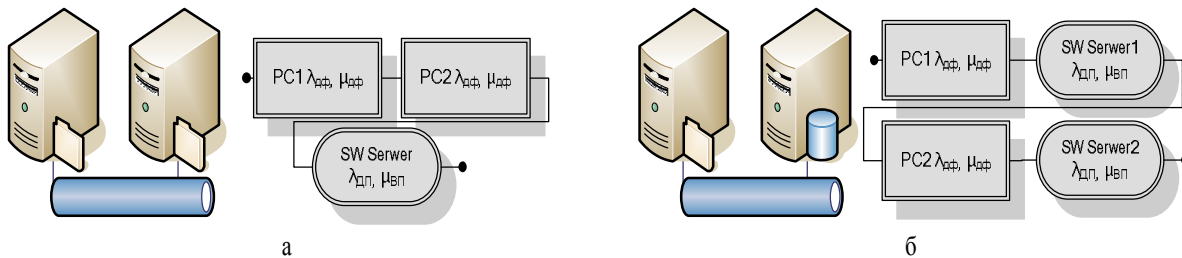


Рис. 4. Структурные схемы надежности двухканальных одно- (а) и двухверсионной (б) ИС

По размеченным графам функционирования ИС были построены СЛДУ Колмогорова. Анализ моделей показал рост размерности решаемых задач, связанных с усложнением рассматриваемых структур систем, что приводит к увеличению размерности матрицы СЛДУ Колмогорова. Для решения СЛДУ был использован модифицированный экспоненциальный метод [10]. При расчетах приняты параметры, представленные в табл.1.

Таблица 1  
Количественные значения параметров потоков отказов и восстановлений АС и ПС ИС

$\lambda_{дф}$ (1/ч)	$\mu_{дф}$ (1/ч)	$\lambda_{дп}$ (1/ч)	$\mu_{вп}$ (1/ч)	$\Delta\mu_{вп}$ (1/ч)	$\Delta\lambda_{дп}$ (1/ч)
$10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$

Результаты вычислений представлены в виде графической зависимости функции готовности от времени функционирования систем на рис. 5.

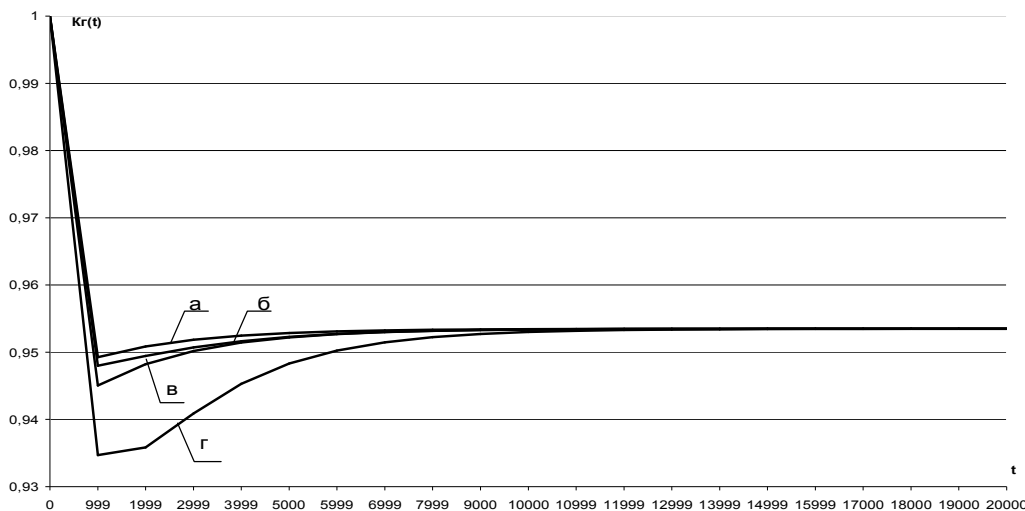


Рис. 5. Результаты моделирования и оценки надежности дублированных одно- и двухверсионной ИС: а –  $S_{21} \{ \lambda_{дп} = \text{var}, \mu_{вп} = \text{const} \}$ ; б –  $S_{21} \{ \lambda_{дп} = \text{var}, \mu_{вп} = \text{var} \}$ ; в –  $S_{22} \{ \lambda_{дп} = \text{var}, \mu_{вп} = \text{const} \}$ ; г –  $S_{22} \{ \lambda_{дп} = \text{var}, \mu_{вп} = \text{var} \}$

## Выводы

В статье рассмотрено построение многофрагментных марковских моделей функционирования ИС, позволяющих описать изменение параметров проявления ДП на различных этапах жизненного цикла.

Сравнение результатов моделирования одно- и двухверсионных архитектур ИС на рис.5 показало, что в процессе устранения ДП ПС надежность систем асимптотически стремится к прямой  $K_T=0,954$ , которая характеризует устоявшийся режим надежности АС двухканальной системы. Анализ графиков показывает, что кривые б) и в) достигают устоявшегося состояния через 8000 часов практически одновременно, следовательно периоды приработки одно- и двухверсионной системы в рассматриваемых случаях равны.

## Список литературы

1. Конорев Б.М., Харченко В.С., Чертков Г.Н. Концепция и принципы реализации интегрированной инструментальной системы для поддержки экспертизы и независимой верификации критического программного обеспечения. – Х.: ГКАРУ Сертификат АСУ, 2003. – 60 с.
2. Харченко В.С., Асидех Ф.А., Лысенко И.В. Марковские модели готовности восстанавливаемых STRATUS-систем // Системы обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 4. – С. 216-226.
3. Волков Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1981. – 368 с.

4. Randell B. System Structure for Software Fault Tolerance // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1975. – Vol. 1. – P. 220-232.

5. Lyu M.R. Handbook of Software Reliability Engineering. – Washington: McGraw-Hill Company, 1996. – 805 p.

6. Liu Y., Levendel H., Trivedi K.S. Modeling and Analysis of Software Rejuvenation in Cable Modem Termination System // ISSRE. – 2002. – Vol. 12, № 17. – P. 159-170.

7. Поночовний Ю.Л., Одаруценко Е.Б. Моделирование надежности обновляемых программных средств резервированных информационно-управляющих систем постоянной готовности // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2004. – № 4 (8). – С. 93-97.

8. Харченко В.С., Одаруценко О.Н., Одаруценко Е.Б. Базовые многофрагментные макромоделли оценки надежности отказоустойчивых компьютерных систем информационно-управляющих комплексов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 5 (17). – С. 62-70.

9. Соммервил И. Инженерия программного обеспечения: Пер. с англ. – С.-Пб.: Вильямс, 2002. – 624 с.

10. Одаруценко О.Н., Одаруценко Е.Б., Поночовний Ю.Л. Применение численных методов для решения жестких систем линейных дифференциальных уравнений в задачах оценки надежности обслуживаемых систем // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2002. – Вып. 35. – С. 187-191.

Поступила в редколлегию 18.07.2008

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

## ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Ю.Л. Поночовний

У статті розглянуто побудову багатofрагментних моделей функціонування інформаційних систем, що дозволяють описати зміну інтенсивності відмов програмних засобів на різних етапах життєвого циклу. Представлені моделі дозволяють описувати як збільшення, так і зменшення інтенсивностей прояву програмних дефектів і відновлення системи після відмов.

**Ключові слова:** інформаційні системи, програмні засоби, дефекти проектування, інтенсивності відмов і відновлення, багатofрагментні моделі, вкладений марківський ланцюг.

## ESTIMATION OF THE INFORMATIVE SYSTEMS DEPENDABILITY TAKING INTO ACCOUNT THE CHANGE OF SOFTWARE PARAMETERS

Yu.L. Ponochovnyi

In article construction multi-fragmental models of information system software dependability is considered. These models allow to describe variation of software failure rate at different stages of life cycle. The presented models allow to describe both magnifying, and reduction software defects failure rate and recovery of system after failures.

**Keywords:** informative systems, programmatic facilities, planning defects, intensities of refusals and renewal, multiple-fragment models, inlaid Markov chain.