

УДК 621.395.345

М.А. ПИСКАЧЕВА, А.В. ДРЕМЛЮГА

*Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины  
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Украина*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ КОММУТАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Разработана и исследована комплексная модель контроля функционирования устройства управления цифровой коммутационной станцией, которая учитывает ее различные отказы и сбои как аппаратных, так и программных средств, позволяющая получить зависимости для расчета показателей готовности системы.

**контроль, надежность, коэффициент готовности, отказы, сбои системы**

### Постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами

В настоящее время наиболее перспективными из применяемых коммутационных станций являются цифровые автоматические телефонные станции (ЦАТС) [1]. К управляющим устройствам (УУ) ЦАТС предъявляются повышенные требования по надежности и безопасности как аппаратных средств (АС), так и программного обеспечения (ПО). Для того чтобы обеспечить выполнение данных требований, необходимо осуществлять меры по повышению надежности работы УУ ЦАТС путем осуществления контроля и диагностирования как АС, так и ПО.

**Анализ литературы.** Как показал анализ [2 – 5], ранее рассматривались модели контроля функционирования УУ ЦАТС, которые учитывают возникновение отказов и сбоев либо АС, либо ПО. В данной статье предлагаются усовершенствованные модели контроля функционирования УУ ЦАТС, которые учитывают возникновение отказов и сбоев как ПО, так и АС и позволяют оценить их влияние на готовность системы.

**Целью данной статьи** является разработка модели контроля функционирования УУ ЦАТС, которая позволит оценить влияние возникновения сбоев и отказов как аппаратной, так и программной составляющих частей УУ системы цифровой коммутации на его коэффициент готовности.

### Результаты исследований

Процесс работы УУ ЦАТС представляет собой

случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем, так как потоки заявок, потоки отказов и сбоев имеют случайный характер. Легко показать [2], что поток отказов УУ цифровой коммутационной станции, который переводит систему из одного состояния в другое, можно считать пуассоновским, т.е. он обладает свойствами ординарности, стационарности и беспоследствия. В этом случае процесс функционирования УУ ЦАТС можно представить в виде Марковского случайного процесса [6]. Тогда для описания модели контроля функционирования УУ ЦАТС можно использовать вероятностную Марковскую модель.

Для оценки эффективности работы УУ ЦАТС в модели необходимо учитывать и оценивать надежность как АС, так и ПО. Основное внимание целесообразно уделить рассмотрению влияния надежности ПО ЦАТС на эффективность работы УУ ЦАТС.

Оценка надежности, качества разработки и применения ПО требует определения состава соответствующих характеристик и показателей, а также методов их оценки. Определяющей характеристикой ПО ЦАТС является надежность функционирования. Чем ниже уровень надежности ПО, применяемого в системе, тем жестче должны быть требования, предъявляемые к системам контроля и диагностирования. Целесообразно использовать показатели надежности АС и ПО УУ ЦАТС [2]: вероятность безотказной работы системы, коэффициент готовности, интенсивность

сбоев, интенсивность отказов, интенсивность восстановления. При построении модели примем допущения для АС и ПО УУ ЦАТС.

Для ПО УУ ЦАТС допущения имеют вид:

- 1) вторичные ошибки исправляются немедленно;
- 2) поток отказов ПО является простейшим пуассоновским потоком на том отрезке времени, пока ПО не корректируется;
- 3) проявления всех дефектов происходят независимо друг от друга.

Для АС УУ ЦАТС допущения следующие:

- 1) проявление всех сбоев и отказов происходит независимо друг от друга;
- 2) поток отказов АС является пуассоновским.

При данных допущениях были построены и исследованы три модели функционирования УУ ЦАТС, каждая из которых позволяет оценить влияние на надежность функционирования ЦАТС таких количественных показателей контроля и диагностирования, как: вероятность ложного отказа при контроле –  $\alpha$ ; вероятность скрытого отказа –  $\beta$ . Особенностью первой модели является то, что возвращение системы в работоспособное состояние

после устойчивого отказа как АС, так и ПО осуществляется только после реконфигурации и замены отказавшего элемента. Особенностью второй модели является то, что возвращение в работоспособное состояние возможно как после реконфигурации системы, так и после замены отказавшего элемента. Третья модель более полно отражает этапы контроля функционирования УУ ЦАТС, и отличается от предложенных ранее тем, что после реконфигурации, а также после замены отказавшего элемента производится контроль работоспособности системы, и только после этого УУ ЦАТС переходит в работоспособное состояние. Поэтому далее рассматривается и оценивается третий вариант модели контроля функционирования УУ ЦАТС.

На рис. 1 приведен граф состояний марковской модели оценки надежности УУ ЦАТС, построенной с учетом допущений для АС и ПО УУ ЦАТС. Ребрам графов, приведенным на рис. 1, соответствуют интенсивности между этими состояниями.

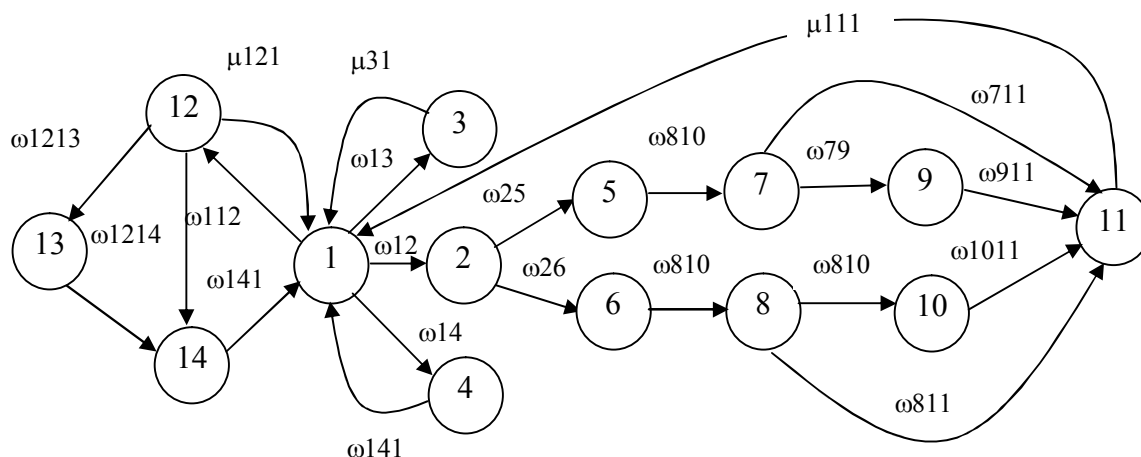


Рис. 1. Граф состояний марковской модели контроля функционирования УУ ЦАТС

Вершины графа соответствуют возможным состояниям системы: 1 – работоспособное состояние и контроль состояния системы; 2 – устойчивый отказ; 3 – сбой в работе системы; 4 – “ложный отказ” системы; 5 – устойчивый отказ программного обеспечения; 6 – устойчивый отказ аппаратных средств; 7 – реконфигурация ПО при оперативном контроле; 8 – реконфигурация устойчивых отказов АС; 9 – замена ПО; 10 – замена

АС; 11 – контроль работоспособности системы после реконфигурации и замены как АС, так и ПО; 12 – контроль системы во время периодического контроля; 13 – скрытый отказ, выявляемый при периодическом контроле; 14 – восстановление системы со сбоем или скрытым отказом во время периодического контроля.

По графу состояний (рис. 1), при принятых

допущениях для предложенной модели были составлены дифференциальные уравнения Колмогорова [6, 8, 9], описывающие переход системы из одного состояния в другое:

$$\frac{dP1}{dt} = \mu_{31} \cdot P3(t) + \mu_{41} \cdot P4(t) + \mu_{111} \cdot P11(t) + \mu_{121} \cdot P12(t) + \mu_{141} \cdot P14(t) - \omega_{112} \cdot P1(t) - P1(t) \cdot (\omega_{12} + \omega_{13} + \omega_{14});$$

$$\frac{dP2}{dt} = \omega_{12} \cdot P1(t) - P2(t) \cdot (\omega_{25} + \omega_{26});$$

$$\frac{dP3}{dt} = \omega_{13} \cdot P1(t) - \mu_{31} \cdot P3(t);$$

$$\frac{dP4}{dt} = \omega_{14} \cdot P1(t) - \mu_{41} \cdot P4(t);$$

$$\frac{dP5}{dt} = \omega_{25} \cdot P2(t) - \omega_{57} \cdot P5;$$

$$\frac{dP6}{dt} = \omega_{26} \cdot P2(t) - \omega_{68} \cdot P6(t);$$

$$\frac{dP7}{dt} = \omega_{57} \cdot P5(t) - (\omega_{79} + \omega_{711}) \cdot P7(t);$$

$$\frac{dP8}{dt} = \omega_{68} \cdot P5(t) - (\omega_{810} + \omega_{811});$$

$$\frac{dP9}{dt} = \omega_{79} \cdot P7(t) - \omega_{911} \cdot P9(t);$$

$$\frac{dP10}{dt} = \omega_{810} \cdot P8(t) - \omega_{1011} \cdot P10(t);$$

$$\frac{dP11}{dt} = \omega_{711} \cdot P7(t) + \omega_{811} \cdot P8(t) + \omega_{911} \cdot P9(t) + \omega_{1011} \cdot P10(t) - \mu_{111} \cdot P11(t);$$

$$\frac{dP12}{dt} = \omega_{112} \cdot P1(t) - (\mu_{121} + \omega_{1214} + \omega_{1213})P12(t);$$

$$\frac{dP13}{dt} = \omega_{1213} \cdot P12(t) - \omega_{1314} \cdot P13(t);$$

$$\frac{dP14}{dt} = \omega_{1214} \cdot P12(t) + \omega_{1314} \cdot P13(t) - \mu_{141} \cdot P14(t).$$

Система данных уравнений была решена в математической системе Mathcad 2000. В результате решения системы дифференциальных уравнений определены значения вероятностей нахождения системы в каждом из состояний при заданных значениях интенсивностей отказов, сбоев и восстановления как АС, так и ПО:  $\mu_{41} = 10^4$  1/ч;  $\mu_{141} = 10^4$  1/ч;  $\mu_{111} = 10^4$  1/ч;  $\mu_{91} = 10^4$  1/ч;  $\mu_{21} = 10^4$  1/ч;  $\omega_{1011} = 10^4$  1/ч;  $\omega_{68} = 10^4$  1/ч;  $\omega_{57} = 10^4$  1/ч;  $\omega_{911} = 10^4$  1/ч;  $\omega_{811} = 10^4$  1/ч;  $\omega_{711} = 10^4$  1/ч;  $\omega_{112} = 0.045$  1/ч;  $\mu_{121} = 0.044$  1/ч;  $\omega_{13} = 10^{-6}$  1/ч;  $\omega_{79} = 10$  1/ч;  $\omega_{810} = 6$  1/ч;  $\omega_{1213} = 10^{-6}$  1/ч;  $\omega_{1214} = 10^{-4}$  1/ч;  $\omega_{35} = 30$  1/ч;

$$\omega_{36} = 30 \text{ 1/ч; } \omega_{1314} = 10 \text{ 1/ч; } \omega_{12} = 10^{-4} \text{ 1/ч.}$$

В результате решения данной системы дифференциальных уравнений при заданных значениях интенсивностей отказов, сбоев и восстановления получаем значения вероятностей нахождения исследуемой системы в каждом из состояний. По полученным значениям вероятностей нахождения УУ ЦАТС в каждом из состояний, необходимо оценить характеристики готовности исследуемой системы к применению. Поэтому оценка модели проведена по коэффициенту готовности системы УУ ЦАТС. Значение коэффициента готовности равно сумме вероятностей работоспособных состояний [2], т.е.

$$K_z = P1 + P12. \quad (1)$$

По полученным в аналитической форме соотношениям для вероятностей нахождения исследуемой системы в каждом из состояний построены графические зависимости (рис. 2, 3) коэффициента готовности системы от изменения различных интенсивностей отказов, сбоев и восстановления.

Моделирование показало, что коэффициент готовности оказывается максимальным (0,9999999) при значении интенсивности восстановления  $\mu \leq 100$  1/ч. При повышении интенсивности восстановления значение коэффициента готовности изменяется незначительно. При уменьшении интенсивности сбоев и отказов в сто раз при неизменной интенсивности восстановления коэффициент готовности системы увеличивается на несколько порядков.

## Выводы

Так как от характеристик средств контроля сильно зависит коэффициент готовности, необходимо соответствующим образом выбирать стандартные методы контроля, которые учитывают влияние интенсивностей отказов. Предложенная модель дает возможность выбирать стандартные методы контроля и диагностирования из существующих и компоновать их, исходя из значений интенсивностей сбоев и отказов АС и ПО УУ ЦАТС.

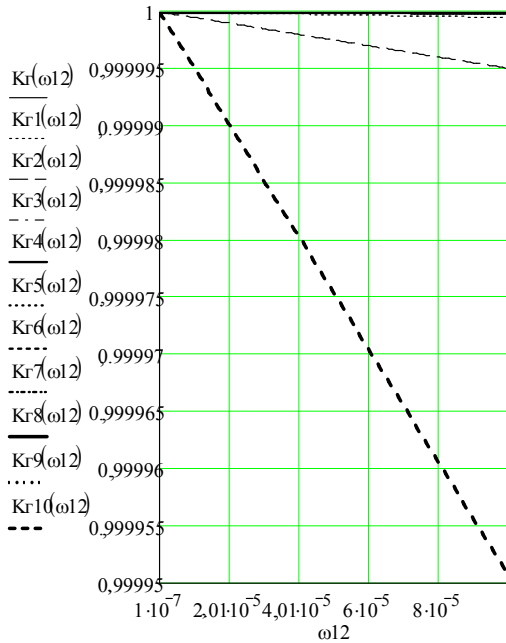


Рис. 2. Зависимость коэффициента готовности от интенсивности сбоев при изменении интенсивности восстановления системы:  
 1)  $\mu_{111}=10000$  1/ч, 2)  $\mu_{111}=100$  1/ч, 3)  $\mu_{111}=10$  1/ч,  
 4)  $\mu_{111}=1000$  1/ч, 5)  $\mu_{111}=3600$  1/ч, 6)  $\mu_{111}=3.6 \cdot 10^6$  1/ч,  
 7)  $\mu_{111}=10^6$  1/ч; 8)  $\mu_{111}=10^5$  1/ч; 9)  $\mu_{111}=5 \cdot 10^6$  1/ч; 10)  $\mu_{111}=2 \cdot 10^6$  1/ч

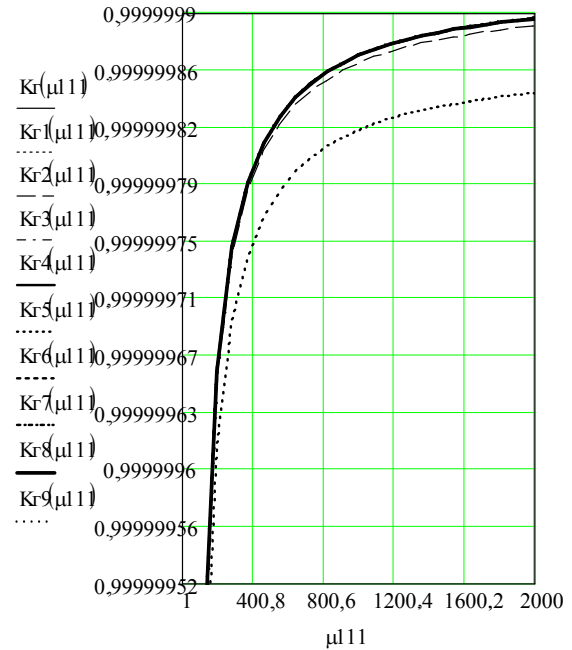


Рис. 3. Зависимость коэффициента готовности при изменении интенсивности восстановления системы интенсивности сбоев:  
 1)  $\omega_{12}=10^{-3}$  1/ч, 2)  $\omega_{12}=10^{-4}$  1/ч, 3)  $\omega_{12}=10^{-5}$  1/ч, 4)  $\omega_{12}=10^{-6}$  1/ч,  
 5)  $\omega_{12}=10^{-7}$  1/ч, 6)  $\omega_{12}=2 \cdot 10^{-6}$  1/ч, 7)  $\omega_{12}=2 \cdot 10^{-5}$  1/ч; 8)  $\omega_{12}=5 \cdot 10^{-4}$  1/ч; 9)  $\omega_{12}=2 \cdot 10^{-4}$  1/ч; 10)  $\omega_{12}=5 \cdot 10^{-5}$  1/ч

## Литература

1. Артеменко Е.А., Пискачева М.А. Стандартизация программного контроля цифровых коммутационных станций как путь обеспечения их требуемой надежности. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 3. – С. 55-61.
2. Надежность и техническое обслуживание АМТС с программным управлением. Справ. пособие / Р.Р. Вегенер, В.Г. Дедоборщ, К.А. Зарецкий и др.; Под ред. В.Г. Дедоборща и Н.Б. Суторихина. – М.: Радио и связь, 1989. – 320 с.
3. Прогнозирование технического состояния систем управления / Ю.Т. Костенко и др.; Под ред. Ю.Т. Костенко, Л.Г. Раскина. – Х.: Основа, 1996. – 303 с.
4. В.С. Харченко, В.В. Складар, О.М. Тарасюк. Методы моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения: Учебное пособие. – Х.: НАУ «ХАИ», 2004. – 159 с.
5. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики: Учебн. пособие. – К.: НАУ, 2004. – 164 с.
6. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские

процессы. – М.: Сов. радио, 1977. – 485 с.

7. Липаев В.В. Надежность программных средств. Серия “Информатизация России на пороге XXI века”. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 232 с.
8. Ульяновченко О.В., Лебідь М.Т., Хлівняк Г.Г., Бабенко В.О. Математичне програмування: Навч. посібник / За ред. О.В. Ульянченка: Харк. Нац. Аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. – Х.: ХНАУ, 2002. – 296 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.
10. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.

Поступила в редакцию 24.02.2006

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