

УДК 004.052.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ

Шлаев Д.В., Резеньков Д.Н., Гайчук Д.В.

*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»,
Ставрополь, e-mail: shlaev.dmitry@yandex.ru*

Надежность информационной системы обеспечивается за счет адекватных целей и масштабов системы в процессе хранения и обработки данных. Одним из наиболее распространенных методов исследования состояний информационной системы является метод интенсивностей переходов, основанный на предположении о пуассоновском потоке редких событий, переводящих информационную систему из одного состояния в другое, т.е. поток событий обладает свойствами ординарности и отсутствия последствия. Для повышения надежности функционирования информационной системы можно использовать резервное копирование встроенных механизмов для расширения защиты данных. В результате вероятность безотказной работы информационной системы с постоянно включенным резервом и замещением может быть рассчитана. Из двух указанных типов резервирования наибольший выигрыш в надежности достигается при резервировании замещением. Однако такое резервирование имеет один существенный недостаток, заключающийся в том, что для его физической реализуемости требуется «идеальная» система мониторинга состояния системы и коммутации при отказе работающей системы.

Ключевые слова: надежность, информационная система, отказоустойчивость, резервирование

THE STUDY OF FUNCTIONAL STATES OF AN INFORMATION SYSTEM TO IMPROVE ITS RELIABILITY

Shlaev D.V., Rezenkov D.N., Gaychuk D.V.

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: shlaev.dmitry@yandex.ru

The reliability of the information system is ensured through adequate design and scope of the system in the process of data storage and processing. One of the most common methods of research of the state information system is the method of the intensities of the transitions, based on the assumption of Poisson stream of rare events that transform an information system from one state to another, i.e. the flow of events has the properties of ordinary and lack of follow-through. To improve the reliability of functioning of information system you can use backup built-in mechanisms for enhancing data protection. As a result, the probability of failure of an information system with full-time reserve and substitution can be calculated. Of the two types of reservations, the largest gain in reliability is achieved by redundancy replacement. However, this redundancy has one major drawback, namely that for its physical realizability requires «perfect» system of monitoring and switching upon failure of the operating system.

Keywords: reliability, information system, fault tolerance, redundancy

Для информационной системы важным принципом построения является надежность. Информационная система должна быть максимально защищена от несанкционированного доступа к информации, а также должна полностью отображать информационные и функциональные параметры. Надежность информационной системы обеспечивается с помощью средств адекватных назначению и масштабу системы в процессе хранения и обработки данных. Также следует особо выделить безотказное выполнение функций информационной системой на всех этапах эксплуатации [8].

Комплексный показатель надежности информационной системы обусловлен целым рядом факторов: конструктивных, производственно-технологических, эксплуатационных и др. Многообразие факторов, влияющих на надежность информационной системы, носит случайный

характер процессов изменения свойств во времени, приводящий к изменениям характеристик и отказам системы. Поэтому надежность информационных систем описывается вероятностно-статистическими закономерностями [4].

Надежность информационных систем должна решаться на всех стадиях жизненного цикла системы. Надежность является внутренним свойством информационной системы, заложенным при ее создании и проявляющимся во времени при функционировании и эксплуатации.

Таким образом, в процессе функционирования информационная система может находиться в одном из некоторого множества состояний (фаз), причем каждое из состояний характеризуется определенным уровнем надежности, т.е. переход из одного состояния в другое определяется показателями надежности информационной

системы, в частности «интенсивностями переходов» – условными плотностями вероятностей переходов [1].

Одним из наиболее распространенных методов исследования состояний информационной системы является метод интенсивностей переходов, основанный на предположении о пуассоновском потоке редких событий, переводящих информационную систему из одного состояния в другое, т.е. поток событий обладает свойствами ординарности и отсутствия последействия [2].

Для пуассоновского потока [7]:

1) вероятность появления на интервале времени $(0, t)$ m событий равна

$$P(m, t) = \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (1)$$

где a – математическое ожидание числа событий на участке от t_0 до $t_0 + \tau$, равное

$$a = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \lambda(t) dt,$$

$\lambda(t)$ – интенсивность (плотность) потока событий, причем для простейшего потока $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$;

2) интервал времени между событиями распределен по экспоненциальному закону.

При таких предположениях можно составить и решить систему дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова [7], построив ориентированный граф, вершинами которого являются состояния информационной системы, а направленные ребра – интенсивности и направления возможных переходов.

Решение дифференциальных уравнений осуществляется с использованием преобразований Лапласа, позволяющих свести их к алгебраическим уравнениям.

Рассмотрим на примере исследование состояний информационной системы, которая может находиться в двух состояниях: работоспособном (S_1) и неработоспособном (S_2); λ – интенсивность простейшего потока отказов информационной системы, μ – интенсивность простейшего потока восстановлений работоспособности информационной системы.

Тогда граф состояний рассматриваемой информационной системы имеет вид, представленный на рис. 1

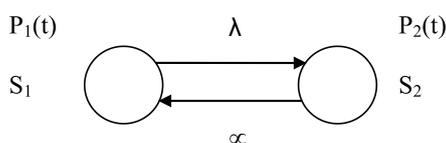


Рис. 1. Граф состояний системы

Дифференциальные уравнения, соответствующие графу состояний на рис. 1, в соответствии с вышеприведенными правилами будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{P_1(t)}{dt} &= -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t), \\ \frac{P_2(t)}{dt} &= \lambda P_1(t) - \mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Так как состояния S_1 и S_2 несовместимы, т.е. составляют полную группу событий, то $P_1(t) + P_2(t) = 1$.

Задавая различные начальные условия (при $t = 0$), с помощью преобразований Лапласа можно получить значения вероятностей $P_1(t)$ и $P_2(t)$.

а) Пусть $P_1(0) = 1$ и $P_2(0) = 0$, т.е. начальное состояние информационной системы работоспособно. Используя преобразования Лапласа, получим

$$\left. \begin{aligned} sF_1(s) - 1 &= -\lambda F_1(s) + \mu F_2(s), \\ sF_2(s) &= \lambda F_1(s) - \mu F_2(s). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Переходя от изображений к оригиналам, получим

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}; \quad (4)$$

$$P_2(t) = 1 - P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}. \quad (5)$$

б) Пусть $P_1(0) = 0$ и $P_2(0) = 1$, т.е. начальное состояние информационной системы неработоспособно. Тогда аналогично получим

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}; \quad (6)$$

$$P_2(t) = 1 - P_1(t). \quad (7)$$

Таким образом, полученные соотношения позволяют определить вероятности двух состояний информационной системы в произвольный момент времени t из различных начальных состояний.

Расчеты по определению вероятностей состояния информационной системы можно автоматизировать (например, для автоматизации использовать математический

пакет MathCAD) [6]. Список характеристик информационной системы может быть расширен. Кроме определения вероятностей состояния информационной системы, могут быть вычислены показатели безотказности: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, средняя наработка до отказа, средняя наработка на отказ, интенсивность отказов и т.п. [5].

Для увеличения надежности любой информационной системы применяется резервирование. Любое резервирование основывается на включении в состав системы дополнительных средств. В нашем случае – дополнительных механизмов защиты. Использование в системе защиты дополнительных механизмов можно рассматривать не только с целью расширения функций встроенных механизмов защиты, но и с целью их резервирования.

Аналогично тому, как это выполнено в теории надежности информационных систем, определены следующие показатели: вероятность безотказной работы нерезервированной и резервированной системы [3]. Как показали исследования, исходная нерезервированная система недостаточно надежна и не может обеспечить требуемый риск.

Для повышения надежности функционирования информационной системы исследовали два вида резервирования: с постоянно включенным резервом и по методу замещения.

Приведем пример вычисления вероятности безотказной работы нерезервированной и резервированной информационной системы.

Пусть вероятность того, что в любой момент времени (на рассматриваемом промежутке работы равном 1000 часов) объект защищен нерезервированной системой, равна

$$p_c(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-10^{-4} \cdot 1000} = 0,9048.$$

Далее для определения вероятности безотказной $P_c(t)$ работы резервированной информационной системы составим и решим систему дифференциальных уравнений [7]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ \frac{dP_i(t)}{dt} &= \lambda P_{i-1}(t) - (\lambda + i\mu)P_i(t) + (i+1)\mu P_{i+1}(t), \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \\ \frac{dP_n(t)}{dt} &= \lambda P_{n-1}(t) - n\mu P_n(t). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В результате преобразований получены значения вероятности безотказной работы информационной системы с постоянно включенным резервом для значения интенсивности восстановления системы $\rho = 0,1$ время восстановления системы защиты $T_v = 8$ недель и $\rho = 0,01$ при $T_v = 1$ неделя.

Вероятность того, что в момент времени от 0 до 1000 часов информационная система работает безотказно, для $\rho = 0,01$ выше, чем при $\rho = 0,1$. Как показывает графическая зависимость, представленная на рис. 2, с увеличением времени непрерывной работы вероятность безотказной работы уменьшается.

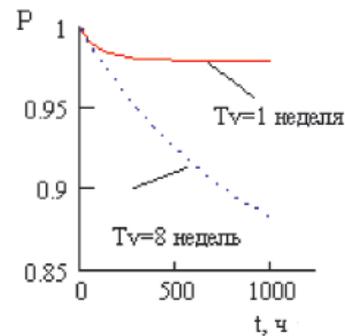


Рис. 2. Вероятность безотказной работы информационной системы с постоянно включенным резервом

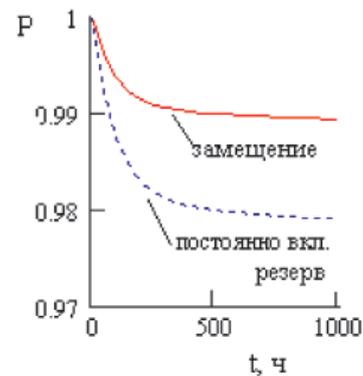


Рис. 3. Вероятность безотказной работы информационной системы с постоянно включенным резервом

Как показывает анализ графических зависимостей представленных на рис. 3, вероятность безотказной работы информационной

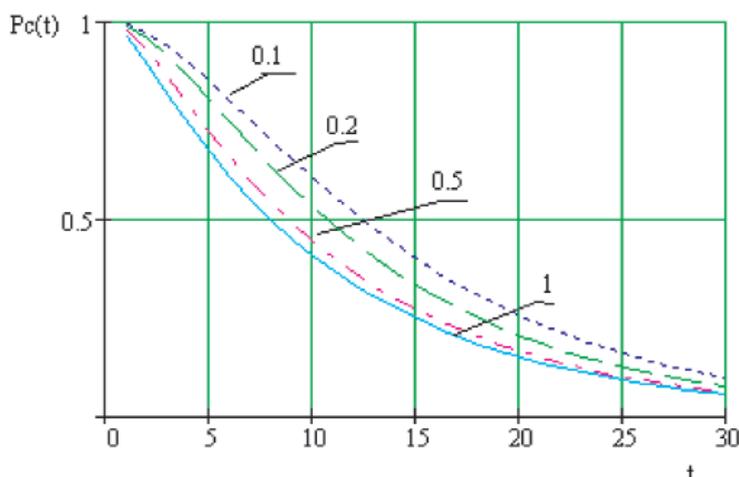


Рис. 4. Зависимость безотказной работы $P_c(t)$ при различных значениях интенсивности λ

системы с замещением выше, чем вероятность безотказной работы системы с постоянно включенным резервом.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- время восстановления (время устранения уязвимостей) должно служить требованием к предприятию разработчику информационной системы;

- с увеличением времени непрерывной работы вероятность того, что информационная система безотказно работает, уменьшается;

- из двух указанных видов резервирования наибольший выигрыш надежности достигается при резервировании замещением.

Однако это резервирование имеет два существенных недостатка:

- для его физической реализуемости требуется автомат контроля состояния системы и коммутации при отказе работающей системы;

- производительность информационной системы уменьшается.

На рис. 4 приведены графики вероятностей безотказной работы информационной системы $P_c(t)$ для случая $\lambda = 0,1; 0,2; 0,5; 1$ с использованием автомата контроля и коммутации системы.

Из графиков видно, что автомат контроля и коммутации влияет на вероятность безотказной работы резервированной информационной системы. Причем для случая, когда $\lambda_1 = 0,1$, вероятность безотказной работы системы наибольшая, а при $\lambda_1 = 1$ – вероятность безотказной работы наименьшая. Из двух рассмотренных видов резервирования наибольший выигрыш надежности системы защиты достигается при резервировании замещением, если автомат контроля состояния информационной системы и коммутации при отказе работающей системы «идеален» с точки зрения отказоустойчивости.

Список литературы

1. Гусева Л.Л., Зайцева И.В. Методы резервирования механизмов защиты для повышения отказоустойчивости системы защиты информации // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2010. – № 14. – С. 102–106.
2. Зайцева И.В. Решение задачи оптимального управления математической моделью сложной экономической системы // Наука. Инновации. Технологии. – 2010. – № 5. – С. 16–21.
3. Зайцева И.В., Курочкина А.И., Таранушенко Ю.В. Развитие моделирования с ориентацией на новые информационные технологии // Модели управления производством и совершенствование информационных технологий. – 2010. – С. 146–147.
4. Зайцева И.В., Романкова М.В., Аверичкин П.А. К Вопросу о надежности информационной системы // Актуальные проблемы информатизации современного общества: сборник заочного международного научно-практического семинара. – 2007. – С. 123–126.
5. Кривошеева В.М., Зайцева И.В. Инновационные подходы управления предприятием с использованием современных информационных технологий // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2015. – № 2 (47). – С. 41–44.
6. Лабуренко Е.С., Зайцева И.В., Шаповал А.С. Компьютеризация информационных процессов в бухгалтерском учете // Моделирование производственных процессов и развитие информационных систем. – 2012. – С. 86–87.
7. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
8. Шаяхметов О.Х., Зайцева И.В. Защита информации: монография. – Ставрополь, НОУ ВПО СКСИ, 2007. – 392 с.

References

1. Guseva L.L., Zajceva I.V. Metody rezervirovaniya mehanizmov zashhity dlja povysheniya otkazoustojchivosti sistemy zashhity informacii // Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma. 2010. no. 14. pp. 102–106.
2. Zajceva I.V. Reshenie zadachi optimalnogo upravlenija matematicheskoj modelju slozhnoj jekonomicheskoj sistemy // Nauka. Innovacii. Tehnologii. 2010. no. 5. pp. 16–21.
3. Zajceva I.V., Kurochkina A.I., Taranushenko Ju.V. Razvitie modelirovaniya s orientaciej na novye informacionnye tehnologii // Modeli upravlenija proizvodstvom i sovershenstvovanie informacionnyh tehnologij. 2010. pp. 146–147.
4. Zajceva I.V., Romankova M.V., Averichkin P.A. K Voprosu o nadezhnosti informacionnoj sistemy // Aktualnye problemy informatizacii sovremennogo obshhestva: sbornik zaocznego mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminar. 2007. pp. 123–126.
5. Krivosheeva V.M., Zajceva I.V. Innovacionnye podhody upravlenija predpriatiem s ispolzovaniem sovremennyh informacionnyh tehnologij // Vestnik Severo-Kavkazskogo federalnogo universiteta. 2015. no. 2 (47). pp. 41–44.
6. Laburenko E.S., Zajceva I.V., Shapoval A.S. Kompjuterizacija informacionnyh processov v buhgalterskom uchete // Modelirovanie proizvodstvennyh processov i razvitie informacionnyh sistem. 2012. pp. 86–87.
7. Polovko A.M., Gurov S.V. Osnovy teorii nadezhnosti. 2-e izd., pererab. i dop. SPb.: BHV-Peterburg, 2006. 560 p.
8. Shajahmetov O.H., Zajceva I.V. Zashhita informacii: monografija. Stavropol, NOU VPO SKSI, 2007. 392 p.