ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.711.3
DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-143-146

В. И. ПОТАПОВ

Омский государственный технический университет, г. Омск

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С АРХИТЕКТУРОЙ «КЛИЕНТ-СЕРВЕР»

Построено две математические модели для описания поведения информационной системы с архитектурой «клиент-сервер» без учета и с учетом конечной надежности системы контроля и восстановления отказавшего компонента рассматриваемой системы. Поведение информационной системы при наличии отказов и восстановления работоспособности компонентов аппроксимируется марковским процессом и описывается системой дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

Решение полученных дифференциальных уравнений численными методами на компьютерах позволяет проводить исследование различных характеристик надежности информационных систем типа «клиент-сервер» в широком диапазоне изменения интенсивностей отказов и восстановления компонентов системы.

Ключевые слова: математическая модель, информационная система, характеристики надежности, дифференциальные уравнения, компьютерное моделирование.

Введение. В настоящее время в связи с интенсивным развитием распределенных информационных систем широкое распространение получила клиент-серверная архитектура сетей ЭВМ.

При этом под термином «клиент-сервер» принято обозначать такую архитектуру информационной системы, в которой ее функциональные компоненты взаимодействуют по схеме «запрос-ответ». В таких системах обычно база данных и программное обеспечение располагаются на сервере, а клиентскую компоненту системы составляют соответствующая аппаратно-программная часть и интерфейс клиента. Обработка данных чаще всего распределяется между клиентской и серверной компонентами. Клиент инициирует запросы, а сервер генерирует ответы на запросы.

Очевидно, что разработка моделей и математического аппарата для исследования надежности рассматриваемых распределенных информационных систем в стационарных условиях и в условиях воздействия внешних факторов, приводящих к возрастанию интенсивности отказов компонентов системы, является актуальной задачей.

Вопросам разработки математических моделей для исследования надежности и защиты информации в информационных системах различной конфигурации, находящихся в различных ситуациях, в частности в ситуации умышленного воздействия на систему с целью дестабилизации ее работы и снижения надежности посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов. Результаты некоторых из них приведены в [1–8].

В отличие от указанных работ в данной статье сделана попытка на основе единой методологии построить такие модели восстанавливаемой после отказов информационной системы с архитектурой «клиент-сервер», поведение которой при различных типах отказов описывается системой дифференциальных уравнений, легко реализуемых численными методами на компьютерах в широком диапазоне изменения интенсивностей отказов и восстановления компонентов информационной системы для оценки ее характеристик надежности.

Постановка задачи. В качестве объекта, для которого разрабатываются математические модели, будем рассматривать восстанавливаемую после отказов информационную систему, состоящую из конечного числа n аппаратно-программных клиентских систем, подключенных с помощью соответствующего интерфейса к серверу C. Учитывая вероятностный характер функционирования рассматриваемой информационной системы как в стационарном режиме, когда интенсивности отказов и восстановления компонентов системы постоянные, так и в условиях внешнего дестабилизирующего работу воздействия на систему, приводящего к увеличению во времени интенсивности отказов компонентов и уменьшению интенсивности их восстановления, что влечет к снижению параметров надежности информационной системы, при разработке ее математической модели будем аппроксимировать поведение системы марковским процессом с конечным числом состояний.

Будем полагать, что отказ любого компонента информационной системы определяется мгновенно после его возникновения и сразу же начинается восстановление отказавшего компонента. Для упрощения математической модели будем пренебрегать конечной надежностью системы контроля и восстановления отказавшего компонента, хотя при необходимости учесть этот параметр не представляет особого труда.

Будем также считать, что в информационной системе возможны одновременные отказы в нескольких клиентских системах при работоспособном сервере. В этой ситуации отказавшие клиентские системы восстанавливаются, а работоспособные продолжают функционировать в режиме «клиент-сервер».

При отказе сервера работа информационной системы прерывается до момента восстановления работоспособного состояния сервера. Полагаем, что у рассматриваемой информационной системы возможны состояния, когда одновременно отказывают одна или несколько клиентских систем и сервер. В этом случае информационная система прекращает функционировать до окончания процесса восстановления работоспособности сервера и отказавших клиентских систем. При этом резервы восстановления отказавших компонентов системы перераспределяются между сервером и отказавшими клиентскими системами, что, естественно, ведет к снижению интенсивности восстановления сервера и отказавших клиентских систем.

После восстановления их работоспособности информационная система продолжает функционировать в стационарном режиме.

Для построения математических моделей рассматриваемой информационной системы введем следующие обозначения:

E_0 — состояние информационной системы при отсутствии отказов в клиентских системах и в сервере;

$E_i (i = 1,2,...,n)$ — состояние информационной системы при наличии отказов в i клиентских системах;

E_0^* — состояние информационной системы при отказе сервера и отсутствии отказов в клиентских системах;

$E_i^* \ (i = 1,2,..., n)$ — состояние информационной системы при одновременном отказе сервера и отказов в i клиентских системах;

λ_c – интенсивность отказов сервера;

$\lambda_{k_i} \ (i = 1,2,..., n)$ — интенсивность отказов i-й клиентской системы;

$\mu_{c_i} \ (i = 0,1,2,...n)$ — интенсивность восстановления работоспособного состояния сервера при одновременном наличии отказов в i клиентских системах;

$\mu_{k_i} \ (i = 1,2,..., n)$ — интенсивность восстановления работоспособности после отказа i-й клиентской системы.

Первая модель информационной системы. Аппроксимируя поведение рассматриваемой восстанавливаемой после отказов информационной системы с архитектурой «клиент-сервер» марковским случайным процессом с конечным числом состояний [9, 10] и учитывая сделанные предположения и обозначения, не трудно составить граф ее состояний (рис. 1).

Обозначим $p_i(t) (i = 1,2,...,n)$ — вероятность нахождения информационной системы в состояниях E_0, E_1, ..., E_n соответственно и $p_i^*(t) \ (i = 0,1,2,..., n)$ — вероятность нахождения информационной системы в соответствующих состояниях $E_0^*, E_1^*, ..., E_n^*$.

Теперь, используя известный прием [11], легко получить систему дифференциальных уравнений Колмогорова (1), описывающих поведение рассматриваемой информационной системы.

$$p_0'(t) = \mu_{c0} p_0^*(t) + \mu_{k_1} p_1(t) - (\lambda_c + \lambda_{k_1}) p_0(t),$$

$$p_i'(t) = \mu_{c_i} p_i^*(t) + \mu_{k_{i+1}} p_{i+1}(t) +$$
$$+ \lambda_{k_1} p_{i-1}(t) - (\lambda_c + \lambda_{k_{i+1}} + \mu_{k_i}) p_i(t),$$
$$i = 1,2,..., n-1, \tag{1}$$
$$p_n'(t) = \mu_{c_n} p_n^*(t) + \lambda_{k_n} p_{n-1}(t) - (\lambda_c + \mu_{k_n}) p_n(t);$$
$$p_i'^*(t) = \lambda_c p_i(t) - \mu_{c_i} p_i^*(t), \quad i = 0,1,2,..., n);$$

с начальными условиями

$$p_0(0) = 1; \ p_i(0) = 0 \ \ (1 \le i < n);$$

$$p_i^*(0) = 0 \quad (0 \le i \le n).$$

Решение системы дифференциальных уравнений (1) численными методами не представляет сложности и может быть легко получено с помощью компьютерных программ. При малых значениях n решение системы уравнений может быть получено в аналитическом виде.

Если интенсивности отказов μ_{c_i}, μ_{k_i} являются функциями времени $\lambda_c = \lambda_c(t)$, $\lambda_{k_i} = \lambda_{k_i}(t)$, $\mu_{c_i} = \mu_{c_i}(t)$, $\mu_{k_i} = \mu_{k_i}(t)$, то решение системы уравнений (1) с переменными во времени коэффициен-

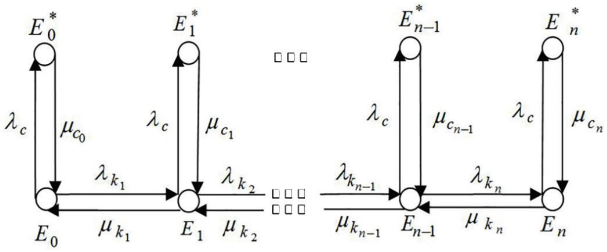

Рис. 1. Граф состояний информационной системы

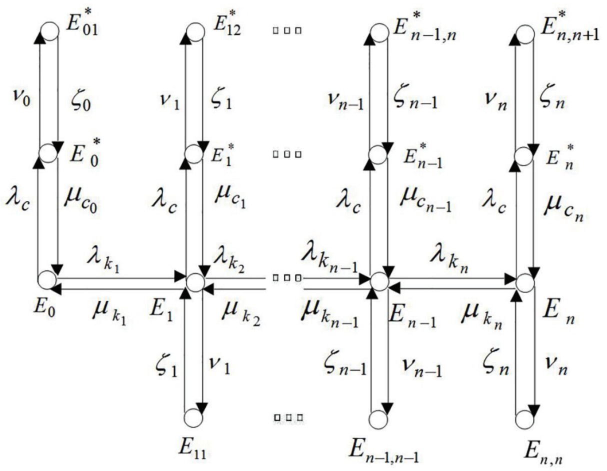

Рис. 2. Граф состояний информационной системы с отказывающей системой контроля и восстановления работоспособности компонентов системы

тами может быть получено методом дискретизации и целочисленного программирования [12] с помощью современных персональных компьютеров.

Система дифференциальных уравнений (1) позволяет вычислять и исследовать многие характеристики надежности [13] рассматриваемой информационной системы: вероятность безотказной работы, вероятность частичного или полного отказа, коэффициент готовности, время восстановления после отказа и другие.

Вторая модель информационной системы. При разработке второй модели восстанавливаемой после отказов информационной системы с архитектурой «клиент-сервер», в отличие от первой модели, будем полагать, что система контроля работы и восстановления отказавшего компонента рассматриваемой информационной системы имеет конечную надежность, может отказывать и восстанавливаться после отказа. В ряде случаев роль такой аппаратно-программной системы может выполнять оператор сети, который так же может отказывать, допускав ошибки в работе, восстанавливать свою работоспособность и исправлять сделанные ошибки.

В связи с этим введем обозначения для новых состояний восстанавливаемой информационной системы:

$E_{ij}(i=1,2,...,n;\ j=1,2,...,n)$ — состояние информационной системы, при котором происходит восстановление i отказавших клиентских систем и произошел отказ системы контроля и восстановления отказавших компонентов;

$E_{ij}^*(i = 1,2,..., n;\ j = 1,2,..., n+1)$ — состояние информационной системы, при котором происходит восстановление отказавшего сервера и произошел отказ системы контроля и восстановления;

V_i $(i=1,2,...,n)$ — интенсивность отказов системы контроля и восстановления отказавшего компонента информационной системы;

ζ_i $(i = 1,2,..., n)$ — интенсивность восстановления работоспособности системы контроля и восстановления отказавшего компонента информационной системы.

С учетом сделанных ранее и введенных новых обозначений составим граф состояний с учетом конечной надежности системы контроля работы и восстановления отказавшего компонента (рис. 2).

Обозначим p_{ii} $(i=1,2,...,n)$ вероятность нахождения информационной системы в состояниях $E_{11}, E_{2,2},..., E_{n,n}$ соответственно и p_{ij}^* $(i = 0,1,2,..., n;\ \ j = 1,2,..., n+1$ — вероятность нахождения информационной системы в соответствующих состояниях $E_{01}, E_{1,2},..., E_{n,n+1}$.

Тогда, используя указанный выше прием [11], нетрудно составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова (2), описывающих поведение рассматриваемой информационной системы при конечной надежности системы контроля работы и восстановления отказавших компонентов системы.

$$p_0'(t) = \mu_{c_0} p_0^*(t) + \mu_{k_1} p_1(t) - (\lambda_c + \lambda_{k_1})\, p_0(t);$$

$$p_i'(t) = \mu_{c_i} p_i^*(t) + \mu_{k_{i+1}} p_{i+1}(t) + \lambda_{k_i} p_{i-1}(t) +$$
$$+ \zeta_i p_{i,i}(t) - \left(\lambda_c + \lambda_{k_{i+1}} + \mu_{k_i}\right) p_i(t) - v_i p_i(t);$$
$$i = 1,2,..., n-1 \qquad (2)$$
$$p_n'(t) = \mu_{c_n} p_n^*(t) + \lambda_{k_n} p_{n-1}(t) +$$
$$+ \zeta_n p_{n,n}(t) - \left(\lambda_c + \mu_{k_n}\right) p_n(t) - v_n p_{n,n}(t);$$

$$p_i'^*(t) = \lambda_c p_i(t) - \mu_{c_i} p_i'^*(t), \qquad (i = 0,1,2,..., n);$$

$$p_{ii}'(t) = v_i p_i(t) - \zeta_i p_{ii}(t), \qquad (i = 1,2,..., n);$$

$$p_{ij}'^*(t) = v_i p_i^*(t) - \zeta_i p_i^*(t),$$
$$(i = 0,1,2,..., n;\quad j = 1,2,..., n+1);$$

с начальными условиями

$$p_0(0) = 1;\quad p_i(0) = 0\ (0 \le i \le n);$$
$$p_i^*(0) = 0 \quad (0 \le i \le n);$$

$$p_{ii}(0) = 0 \quad (1 \le i \le n);$$
$$p_{ij}^*(0) = 0, \quad 1 \le j \le n+1).$$

Решая систему уравнений (2) численными методами при известных значениях к (константных или переменных, зависящих от времени) коэффициентов $\lambda_c, \lambda_{k_i}, v_i, \mu_{c_i}, \zeta_i$, не трудно получить решение в виде вероятностей нахождения рассматриваемой информационной системы с архитектурой «клиент-сервер» в любом из ее состояний $E_i, E_i^*, E_{ii}, E_{ij}^*$, учтенных при разработке математической модели, а также практически любые характеристики надежности информационной системы.

Библиографический список

1. Арьков П. А. Комплекс моделей для поиска оптимального проекта системы защиты информации // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008. Т. 85, № 8. С. 30–36.

2. Антонов А. В., Пляскин А. В., Татаев Х. Н. К вопросу расчета надежности резервированных структур с учетом старения элементов // Надежность. 2013. № 1 (44). С. 55–61.
3. Marn-Ling Shing, Chen-Chi Shing, Kuo Lane Chen [et al.]. A Game Theory Approach in Information Security Risk Study // 2010 International Conference on E-business, Management and Economics IPEDR. 2011. Vol. 3. P. 201–203.
4. Tyurin S. F., Grekov A. V. Functionally Complete Tolerant Elements // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, № 14. P. 34433–34442.
5. Потапов В. И. Задачи и численные алгоритмы оптимизации надежности аппаратно-избыточной технической системы в конфликтной ситуации при различных стратегиях защиты от атак противника // Механика, автоматизация, управление. 2015. Т. 16, № 9. С. 617–624. DOI: 10.17587/mau.16.617-624.
6. Потапов В. И. Модели и алгоритм численного решения задачи противоборства избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем // Проблемы управления и информатики: междунар. науч.-техн. журн. 2015. № 4. С. 70–78.
7. Шебе Х., Шубинский И. Б. Предельная надежность структурного резервирования // Надежность. 2016. № 1 (56). С. 3–8.
8. Потапов В. И. Разработка математической модели динамической технической системы, восстанавливаемой после отказов в процессе конфликта // Омский научный вестник. 2017. № 2 (152). С. 97–101.
9. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 550 с.
10. Козлов Б. А. Резервирование с восстановлением. М.: Советское радио, 1969. 152 с.
11. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. 472 с.
12. Потапов В. И. Математические модели динамических технических объектов конфликтных ситуаций: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. 124 с.
13. ГОСТ Р27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. Введ. 2011–01–01. М.: Стандартинформ, 2011. 28 с.

ПОТАПОВ Виктор Ильич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Информатика и вычислительная техника», заслуженный деятель науки и техники РФ.
SPIN-код: 9710-9680
AuthorID (РИНЦ): 8484
ORCID: 0000-0002-6541-7101
AuthorID (SCOPUS): 57193408105
ResearcherID: P-6263-2016
Адрес для переписки: ivt @ omgtu.ru

Для цитирования

Потапов В. И. Разработка моделей для исследования надежности восстанавливаемой после отказов информационной системы с архитектурой «клиент-сервер» // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 143–146. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-143-146.

Статья поступила в редакцию 04.09.2018 г.