

## ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

И. Ю. ПАРАМОНОВ, В. А. СМАГИН, В. Н. ХАРИН

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: ivan\_paramonov@mail.ru

Исследуется простейшая восстанавливаемая информационная система и оценивается эффективность ее функционирования в условиях техногенного риска.

**Ключевые слова:** информационная система, эффективность, риск, вероятность, процесс восстановления, количество информационной работы, стационарная информационная рентабельность.

**Введение.** В научно-технической литературе рассматриваются различные модели информационных систем, при построении которых учитывается фактор риска [1, 2]. Так, в монографии [1] представлен логико-вероятностный метод исследования таких систем. Метод оценивания качества систем с использованием показателя эффективности функционирования и показателя риска с привлечением различных методов оптимизации предложен в работе [3], где целевая функция системы определена как функция от двух указанных показателей; при этом необходимо, чтобы показатель риска был аргументом эффективности функционирования наряду с другими первичными показателями качества.

**Постановка задачи.** Структура системы, предназначенной для сбора и обработки информации, неизбыточна, т.е. не содержит резервных элементов. В случае технического отказа система мгновенно начинает восстанавливаться в течение случайного времени, после чего вновь продолжает функционировать с заданным качеством. Заданы функции распределения времени работы системы до ее отказа ( $A(t)$ ) и времени восстановления ( $G(t)$ ). Граф состояний системы показан на рис. 1, где  $a(t)$  — плотность распределения вероятности времени работы системы до отказа,  $g(t)$  — плотность вероятности времени восстановления.

В исправном состоянии „0“ система выполняет информационную работу с производительностью  $I_0$  операций/ч, если внешнее воздействие отсутствует. В состоянии восстановления „1“ количество выполненной работы расходуется с производительностью  $I_1$  операций/ч. После восстановления системы процесс повторяется. Требуется определить количество выполненной информационной работы в зависимости от времени функционирования системы.

**Общее решение.** Рассмотрим процесс функционирования системы, представленный в виде последовательных циклов „работа — восстановление“. Определим количество выполненной информационной работы и количество „потерянной“ работы в каждом цикле.

**Первый цикл.** Количество выполненной информационной работы определяется выражением

$$W_1(t) = I_0 t P(t), \quad (1)$$

где  $P(t) = 1 - A(t)$  — вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии „0“ в течение времени  $t$ ; количество „потерянной“ информационной работы определяется выражением

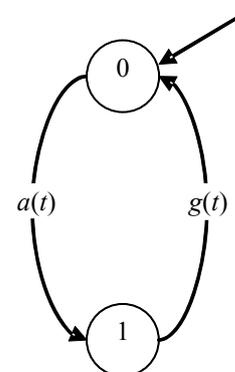


Рис. 1

$$Q_1(t) = -I_1 \int_0^t a(z) \int_0^{t-z} ug(u) du dz, \quad (2)$$

где  $a(z) = a(t)$ ,  $g(u) = g(t)$ .

Для краткости представим выражения (1) и (2), используя преобразование Лапласа ( $s$ ):

$$W_1(s) = I_0 \frac{1 - a(s) + s a'(s)}{s^2};$$

$$Q_1(s) = -I_1 a(s) \frac{1 - g(s) + s g'(s)}{s^2},$$

здесь „штрих“ означает производную от функции по  $s$ .

*Второй цикл.* В этом цикле

$$W_{II}(t) = I_0 \int_0^t a(z) \int_0^{t-z} ug(u) P(t-u-z) du dz, \quad (3)$$

$$Q_{II}(t) = -I_1 \int_0^t a(z) \int_0^{t-z} g(u) \int_0^{t-z-u} a(y) \int_0^{t-z-u-y} xg(x) dx dy du dz. \quad (4)$$

В преобразовании Лапласа формулы (3) и (4) принимают вид

$$W_{II}(s) = I_0 a(s) g(s) \frac{1 - a(s) + s a'(s)}{s^2},$$

$$Q_{II}(s) = -I_1 a(s)^2 g(s) \frac{1 - g(s) + s g'(s)}{s^2}.$$

*Третий цикл.* По аналогии со вторым циклом получим:

$$W_{III}(s) = I_0 a(s)^2 g(s)^2 \frac{1 - a(s) + s a'(s)}{s^2},$$

$$Q_{III}(s) = -I_1 a(s)^3 g(s)^2 \frac{1 - g(s) + s g'(s)}{s^2}.$$

Аналогично можно получить преобразования Лапласа для величин  $W(t)$  и  $Q(t)$  в любых циклах процесса. Суммируя преобразования отдельно по всем циклам, окончательно получаем:

$$W(s) = I_0 \frac{1 - a(s) + s a'(s)}{s^2 (1 - a(s) g(s))}, \quad (5)$$

$$Q(s) = -I_1 a(s) \frac{1 - g(s) + s g'(s)}{s^2 (1 - a(s) g(s))}. \quad (6)$$

**Пример.** Для параметров системы заданы следующие значения:  $I_0=10$  операций/ч,  $I_1=3$  операций/ч,  $\lambda = 0,01 \text{ ч}^{-1}$ ,  $\mu = 0,1 \text{ ч}^{-1}$ ,  $a(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ,  $g(t) = \mu e^{-\mu t}$ ,  $P(t) = e^{-\lambda t}$ , где  $\lambda$  и  $\mu$  — интенсивность отказа и восстановления системы соответственно.

С учетом заданных значений согласно формулам (1) и (2) построены графические зависимости  $W_1(t)$ ,  $Q_1(t)$ : см. рис. 2 — кривые 1 и 2 соответственно.

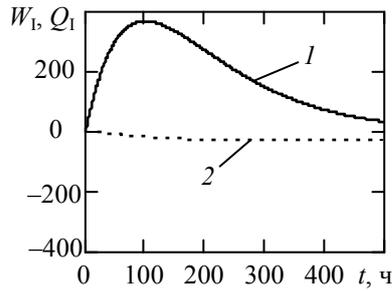


Рис. 2

Далее по формулам (3) и (4) построены зависимости  $W_{II}(t)$  и  $Q_{II}(t)$ : см. рис. 3 — кривые 1 и 2 соответственно.

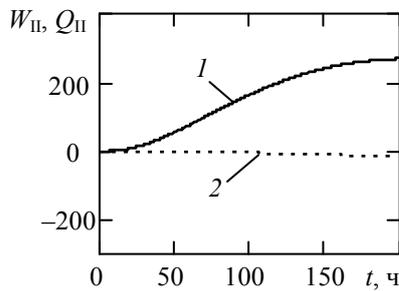


Рис. 3

Сравнительный анализ графиков (см. рис. 2, 3) показывает, что с увеличением номера цикла количество „эффективной“ информационной работы уменьшается.

**Оценивание эффективности системы в стационарном состоянии.** На основе предельной теоремы тауберова типа для экспоненциальных распределений получим

$$\lim_{s \rightarrow 0} (s W^*(s)) = \frac{I_0}{\lambda} \frac{\mu}{\mu + \lambda}, \quad (7)$$

что эквивалентно  $I_0TK$ , где  $T = \int_0^{\infty} P(z) dz$  — среднее время безотказной работы системы,

$K$  — коэффициент готовности системы;

$$\lim_{s \rightarrow 0} (s Q^*(s)) = \begin{cases} -\frac{I_1}{\mu} \frac{\lambda}{\mu + \lambda}, & \text{если } \mu^2 + \lambda\mu \neq 0, \\ I_1 \lambda \operatorname{sgn}(\mu^2 + \lambda\mu), & \text{если } \mu^2 + \lambda\mu = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Первая строка в выражении (8) эквивалентна  $-I_1 T_B (1 - K)$ , где  $T_B$  — среднее время восстановления системы, а  $(1 - K)$  — коэффициент простоя системы.

Вычисление предельных соотношений вида (7) и (8) при неэкспоненциальных законах распределения более сложно, поэтому примем полученные формулы в качестве приближенных для любых распределений вероятностей.

На основе предельных стационарных оценок (7), (8) можно оценить и так называемую „предельную стационарную рентабельность“ информационной системы путем вычисления отношения „эффективной“ информационной работы к количеству выполненной за весь период функционирования системы:

$$C = \frac{I_0TK - I_1T_B(1 - K)}{I_0TK} = \frac{(I_0T + I_1T_B)K - I_1T_B}{I_0TK}. \quad (9)$$

Подставив численные значения параметров, принятые в примере, и учитывая, что  $K = T / (T + T_B) = 0,9$ ,  $I_0TK = 900$  операций,  $(I_0T + I_1T_B)K - I_1T_B = 0,897$  операций, получим:  $C = 0,997$ .

**Оценивание эффективности системы с учетом риска.** Влияние внешних воздействий на работу системы может привести к снижению показателя ее информационной эффективности. Положим, что негативные факторы оказывают влияние на систему, только когда она находится в работоспособном состоянии.

Пусть злоумышленник многократно воздействует на систему в процессе ее функционирования. Предположим, что он обладает информацией о начальных моментах и продолжительности „продуктивной“ работы системы.

Рассмотрим первый цикл функционирования системы. Примем, что момент начала цикла и момент внешнего воздействия на систему совпадают, т.е. оба процесса синхронизированы. Обозначим через  $R(t)$  вероятность недостижения цели злоумышленником. Тогда выражение (1) преобразуется к виду

$$W_1(t) = I_0 t P(t) R(t). \quad (10)$$

В качестве примера рассмотрим случай, когда  $R(t) = R = \text{const}$ . Для первого и второго циклов выражения (1) и (3) примут следующий вид:

$$W_1(K) = \frac{I_0 K T + I_1 T_B (1 - K)}{I_0 K T},$$

$$W_{II}(K) = \frac{I_0 K T R + I_1 T_B (1 - K)}{I_0 K T R}.$$

На рис. 4 представлен график, построенный в соответствии выражением (10) для стационарного случая при  $R = 1$  и  $R = 0,5$  (кривые 1 и 2 соответственно)

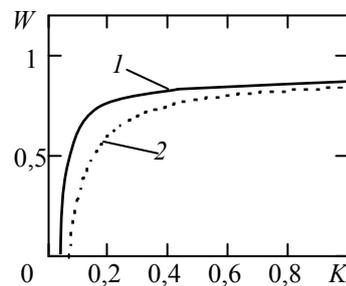


Рис. 4

Для стационарного случая при произвольных зависимостях  $P(t)$  и  $R(t)$  необходимо выполнить достаточно сложные вычисления. Приведем здесь алгоритм вычислений лишь в схематическом виде. Вначале следует произвести преобразование Лапласа произведения  $P(t) \cdot R(t)$  по формуле

$$L(s) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} P(z) R(s-z) dz.$$

Затем необходимо использовать оператор

$$t P(t) R(t) \rightarrow -\frac{dL(s)}{ds}$$

и полученный результат умножить на величину  $I_0$ . Далее следует воспользоваться выражениями (5) и (6) для нахождения стационарных значений  $W$  и  $Q$  при  $s \rightarrow 0$  по формулам (7) и (8). И лишь после этого можно вывести выражение, аналогичное формуле (9), для определения „предельной стационарной рентабельности“ системы.

**З а м е ч а н и е.** В статье исследуется такая характеристика восстанавливаемой системы, как количество информационной работой, при этом не учитывается, что „стареющие“ системы не являются полностью восстанавливаемыми, контроль за возможными состояниями не является идеальным и т.д. Интерес к данной тематике вызван тем, что современные сетевые системы состоят из восстанавливаемых информационных элементов, связанных друг с другом и обладающих возможностью выполнять информационную работу даже при снижении пропускной способности. Однако взаимная связь элементов в таких системах позволяет достаточно долго сохранять их устойчивость.

**Заключение.** Рассмотрена простейшая восстанавливаемая информационная система, имеющая два состояния — исправное и неисправное — при произвольных распределениях времени в обоих состояниях. Контроль состояний идеальный, восстановление системы полное.

Особенность данного исследования заключается в том, что при заданных пропускных способностях узлов системы определяется количество информационной работы, выполненной в одном состоянии и израсходованной в другом. Введен показатель „предельной стационарной рентабельности“ системы, позволяющий оценить ее эффективность при изменении основных параметров.

Предложена модель функционирования информационной системы с учетом техногенного риска и оценены показатели ее эффективности в этих условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПб: Изд. дом „Бизнес-пресса“, 2006. 530 с.
2. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. СПб: „БХВ-Петербург“, 2006. 704 с.
3. Горелик В. А., Золотова Т. В. Общий подход к моделированию процедур управления риском и его применение к стохастическим и иерархическим системам // Управление большими системами. 2012. Вып. 37. С. 5—24.

#### Сведения об авторах

**Иван Юрьевич Парамонов**

— канд. техн. наук, докторант; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра метрологического обеспечения; E-mail: ivan\_paramonov@mail.ru

**Владимир Александрович Смагин**

— д-р техн. наук, профессор; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра метрологического обеспечения; E-mail: va\_smagin@mail.ru

**Виталий Николаевич Харин**

— канд. техн. наук, доцент; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра метрологического обеспечения; E-mail: vitaliy76@inbox.ru

Рекомендована кафедрой  
метрологического обеспечения

Поступила в редакцию  
01.04.14 г.

**Ссылка для цитирования:** Парамонов И. Ю., Смагин В. А., Харин В. Н. Оценивание эффективности функционирования информационной системы в условиях техногенного риска // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 3. С. 167—172.

#### ASSESSING THE OPERATION EFFICIENCY OF INFORMATION SYSTEM UNDER TECHNOGENIC RISK CONDITIONS

I. Yu. Paramonov, V. A. Smagin, V. N. Kharin

A. F. Mozhaysky Military Space Academy, 197198, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: ivan\_paramonov@mail.ru

A simple restorable information system is studied; operation efficiency of the system under technogenic risk conditions is estimated.

**Keywords:** information system, efficiency, risk, probability, restoration process, information work quantity, stationary information profitability.

**Data on authors**

- Ivan Yu. Paramonov** — PhD, Doctoral Cand.; A. F. Mozhaysky Military Space Academy, Department of Metrological Support; E-mail: ivan\_paramonov@mail.ru
- Vladimir A. Smagin** — Dr. Sci., Professor; A. F. Mozhaysky Military Space Academy, Department of Metrological Support; E-mail: va\_smagin@mail.ru
- Vitaly N. Kharin** — PhD, Associate Professor; A. F. Mozhaysky Military Space Academy, Department of Metrological Support; Head of the Department; E-mail: vitaliy76@inbox.ru

**Reference for citation:** *Paramonov I. Yu., Smagin V. A., Kharin V. N.* Assessing the operation efficiency of information system under technogenic risk conditions // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58, N 3. P. 167—172 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-3-167-172