УДК 004.621:681.324

Хорошко В. А., докт. техн. наук., профессор.(Тел.: +380 67321 64 03. E-mail: professor_va@ukr.net).
(Национальный авиационный университет, г. Киев)

Браиловский Н. Н., канд. техн. наук, доцент (Тел.: +380 67 429 20 56. E-mail:bk1972@bk.ru).
(Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев)

ЖИЗНЕСТОЙКОСТЬ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Хорошко В. О., Браіловський М. М. Життєстійкість систем захисту інформаційного простору. У статті пропонуються показники, що характеризують життєстійкість систем захисту інформаційного простору як міру збереження стійкості їх функціонування в умовах неминучих відмов, які виникають завдяки некваліфікованим діям обслуговуючого персоналу. Наводиться метод розрахунку життєстійкості систем за продуктивністю, методика розрахунку структурної життєстійкості.
Ключові слова: життєстійкість, система захисту, інформаційний простір

Хорошко В. А., Браиловский Н. Н. Жизнестойкость систем защиты информационного пространства В статье предлагаются показатели, характеризующие жизнестойкость систем защиты информационного пространства как меру сохранения устойчивости их функционирования в условиях неизбежных отказов, вызванных неквалифицированными действиями обслуживающего персонала. Приводится метод расчета жизнестойкости систем по производительности, методика расчета структурной жизнестойкости
Ключевые слова: жизнестойкость, система защиты, информационное пространство

Khoroshko V. O., Brailovskyy M. M. The viability of protection systems of information space. The article proposes indicators characterizing the viability of systems of protection of information space as a measure of conservation sustainability of their operation under the inevitable failures. Methods of calculating the viability of systems for performance, method of calculation of the structural resilience.
***Keywords*:** security system, viability, information space

Введение Жизнестойкость систем защиты информационного пространства (СЗИП) определяется [1] как способность выполнять основные функции либо все функции, но с пониженной эффективностью при отказе составляющих подсистем и их элементов. Под жизнестойкостью СЗИП в [2] понимают их способность (достигаемую программной организацией структуры и функционального взаимодействия между ее подсистемами и элементами) использовать суммарную производительность всех исправных подсистем (ПС) в процессе реализации параллельного алгоритма сложной решаемой задачи. Количественные характеристики потенциальной и структурной жизнеспособности СЗИП определены в работах [1, 2].

В [3] детально рассмотренны вопросы защиты информационных ресурсов организаций и учреждений, предложена модель корпоративной системы антивирусной защиты и системы управления доступом на объекте информатизации.

Основные требования к автоматизированным средствам контроля технического состояния систем защиты информации изложены в [4].

Информационное пространство (ИП) представляет собой однородные или программные структуры. Значение вероятности безопасной работы $p_0(T_n)$ СЗИП, состоящий из n элементарных подсистем (элементов, машин), в течении времени T_n, реализации параллельной программы ранга r, определяется выражением $p_0(T_n) = e^{-r\tau T_n}$, при существующих показателях надежности системы (среднее время безотказной работы элемента системы $\tau^{-1}=10^3$ -10^4 ч) близкой к единице. Однако, выход из строя любого из n элементов системы в процессе решения задачи может привести к отказу от ее выполнения или выполнение с определенными ограничениями (временными, по точности и т.д.).

Постановка задачи. В настоящей работе рассматривается свойство жизнестойкости системы как степень сохранения системой допустимого значения показателя качества функционирования в предположении неизбежности отказов технических и программных ресурсов системы, а также отказов, вызванных неквалифицированными действиями обслуживающего персонала. Кроме этого, авторы считают, что под жизнестойкостью системы необходимо так же понимать ее способности оставаться работоспособной в течении некоторого промежутка времени, за который она сумеет не только адаптироваться к внешним воздействиям, но и иметь возможность восстановления всех своих утраченных первоначальных функциональных способностей (программных и аппаратных) после негативного влияния.

Основная часть Обозначим через S_i множество возможных состояний СЗИП при заданной кратности γ отказов: $I_\gamma = \{I_i\}$, $i = \in \{1,2,\dots |S_\gamma|\}$; I – множество всех возможных значений показателя при $\gamma = \overline{0, \mathrm{M}}$; $I = \{I_0, I_1, I_2, \dots I_\gamma, \dots I_M\}$, где M – число компонентов системы. Пусть $P_{i\gamma}$– вероятность нахождения системы в состоянии $S_{i\gamma} \in S_\gamma$, причем $\sum_{i=1}^{|S_\gamma|} P_{i\gamma} = 1$; I^* –нижняя граница для рассматриваемого показателя качества функционирования. Введем величину $\overline{\Theta}_J$ (j – кратность отказов) определяемую выражением:

$$\overline{\Theta}_J = \left[\prod_{i=1}^{|S_j|} \Delta\left(I_{ij} - I^*\right)\right]\left[\sum_{i=1}^{|S_j|} P_{ij} I_{ij} \Delta\left(I_{ij} - I^*\right)\right],$$

где $\Delta\left(I_{ij} - I^*\right) = \begin{cases} 1 \text{ при} I_{ij} \geq I^*; \\ 0 \text{ при} I_{ij} < I^*. \end{cases}$

Последовательно уменьшая значения j (начиная от j=M–1), определяем минимальное отличие от нуля значение из множества

$$\overline{I_{min}} = \min_{M-1 \geq j \geq 0}\left\{\overline{\Theta_{\mathrm{j}}} \geq 0\right\}. \quad (1)$$

Среднее значение $\overline{I_\gamma}$ показателя γ при заданном значении $\gamma \geq 1$ определим выражением

$$\overline{I_\gamma} = \sum_{i=1}^{|S_j|} P_{ij} I_{ij} \delta\left(I_{ij} - I^*\right), \quad (2)$$

где $\delta\left(I_{ij} - I^*\right) = \begin{cases} 1 \text{ при} I_{i\gamma} \geq I^*; \\ 1 - {I^*}/{I_{i\gamma}} \text{ при} I_{i\gamma} < I^*. \end{cases}$

Мерой устойчивости системы к отказам кратности $\gamma \in \{0,1,2,\dots,M\}$ будем считать коэффициент $K_\gamma = \left(\overline{I_\gamma} - \overline{I_{min}}\right)/\overline{I_\gamma}$, который в дальнейшем будем называть γ-м коэффициентом устойчивости функционирования системы. Очевидно, что при γ=0 коэффициент устойчивости K_γ приближается к значению K_0, чем он выше, тем более СЗИП живуча. Жизнестойкость (отказоустойчивость) системы по показателю I характеризует величина:

$$\Gamma_\gamma(I) = \frac{K_\gamma}{K_0} = \frac{I_0}{\overline{I_\gamma}} \cdot \frac{\overline{I_\gamma} - I_{min}}{I_0 - \overline{I_{min}}}.$$

В дальнейшем величину

$$\Gamma(I) = \Gamma_1(I) = \frac{I_0}{\overline{I_1}} \cdot \frac{\overline{I_1} - \overline{I_{min}}}{I_0 - \overline{I_{min}}} \quad (3)$$

будем называть жизнестойкостью системы, а условие

$$\Gamma(I) \geq 0 \quad (4)$$

назовем условием жизнестойкости системы.

Рассмотрим оценку жизнестойкости системы по ее производительности. Пусть задача объема W операций (Рис.1) представлена параллельной программой ранга r и для решения выделена подсистемой из n элементарных элементов. В процессе решения выделяются контрольные точки и контролируемый объем вычислений определяются формулой $\Delta W = \frac{W}{kn}$, где k – число контрольных точек в каждой параллельной ветви.

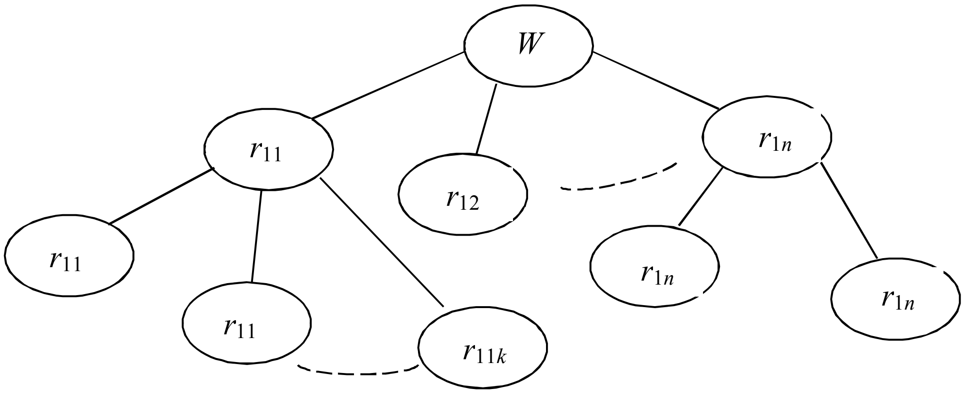

Рис. 1. Структура рассматриваемой системы информационного пространства

Объем вычислений для указаний организации процессов решения оценивается функционалом

$$W(n,k)=W_{\psi}(n,k),$$

где $\psi(n,k)$ – функция, учитывающая изменение объема вычислений при изменении числа nвычислительных элементов в подсистеме для различных значений k.

Время решения данной задачи при безотказной работе всех n вычислительных элементов подсистемы составляет

$$T(n,k) = {W(n,k)}/{n\omega} = {W\psi(n,k)}/{n\omega},$$

где ω −показатель производительности вычислительного элемента.

Производительность подсистемы при заданных условиях определяется выражением

$$\Omega(n,k) = {W}/{T(n,k)} = {n\omega}/{\psi(n,k)}.$$

Пусть при отказе любого из вычислительных элементов подсистемы решение продолжается с момента последней контрольной точки на введенной в подсистему исправному вычислительному элементу (В1) или на одном из исправных вычислительных элементов подсистемы в режиме мультипрограммирования с основным для элементарного вычислительного элемента ветвью (В2).

Тогда для В1 при однократном отказе имеем:

$$T(n-1,k) = T(n,k) + {T(n,k)}/{k} = T(n,k) \cdot (1 + k^{-1}),$$

где ${T(n,k)}/{k}$ – приращение времени решения задачи вследствие необходимости возврата на последнюю контрольную точку при однократном отказе.

Так как, производительность любого вычислительного элемента подсистемы равна ω, то при отказе любого i-го вычислительного элемента

$$\Omega(n-1,k) = {W}/{T(n-1,k)} = {\Omega(n,k)k}/{(1+k)}.$$

Учитывая, что $\forall_i = \overline{1,M}$: $P_{i1} = M^{-1}$, из (2) получим $\overline{\Omega_1}$=$\Omega(n-1,k)$. В соответствии с (3) жизнестойкость СЗИП по производительности при В1 определяется выражением:

$$\Gamma(\Omega) = \frac{\Omega(n,k)}{\Omega(n-1,k)} \cdot \frac{\Omega(n-1,k) - \overline{\Omega_{min}}}{\Omega(n,k) - \overline{\Omega_{min}}} = 1 - \frac{\overline{\Omega_{min}}}{K\left[\Omega(n,k) - \overline{\Omega_{min}}\right]} =$$

$$= 1 - \frac{\psi(n,k)\overline{\Omega_{min}}}{K\left[n\omega - \psi(n,k)\overline{\Omega_{min}}\right]}.$$

С учетом (1) условие жизнестойкости СЗИП по производительности при В1 запишем в следующем виде:

$$1 - \frac{\psi(n,k)\overline{\Omega_{min}}}{K\left[n\omega - \psi(n,k)\overline{\Omega_{min}}\right]} \geq 0$$

или

$$\frac{n,k}{(n+k)\psi(n,k)} \geq \frac{\overline{\Omega_{min}}}{\omega}.$$

В частности, при $\Omega^* = \omega$ (допускается решение параллельной задачи на одном вычислительном элементе) из (1) получаем $\overline{\Omega_{min}} = \omega$. Если контрольные точки, не предусмотрены (k=1), то условие жизнестойкости определится выражением $^{n}/_{\psi(n,1)} \geq 2$.

Для стратегии В2

$$T(n-1,k) = 2T(n-1,k) = 2T(n,k) + {}^{T(n,k)}\!/_{(k-G)},$$

G – отрезок времени от начала решения задачи до момента отказа вычислительного элемента. Выражая производительность через время решения задачи $\left(\Omega_{min} = \frac{W}{\overline{T_{max}}}\right)$,с учетом (3) получаем:

$$\Gamma(\Omega) = \frac{\overline{T_{max}} - T(n-1,k)}{\overline{T_{max}} - T(n,k)} = 1 - \frac{kT(n,k) + T(n,k) - kG}{k\left[\overline{T_{max}} - T(n,k)\right]}.$$

Отсюда следует, что жизнестойкость системы по производительности при В2 тем хуже, чем меньше времени G. Условие жизнестойкости такой СЗИП согласно (4)

$$T(n-1,k) \leq \overline{T_{max}} \quad \text{или} \quad 2T(n,k) + {}^{T(n,k)}\!/_{k-G} \leq \overline{T_{max}}.$$

Оценим нижний предел жизнестойкости системы при G=0. Тогда

$$\frac{2k+1}{k}T(n,k) \leq \overline{T_{max}} \Rightarrow \frac{nk}{(2k+1)\psi(n,k)} \geq \frac{\overline{\Omega_{max}}}{\omega}.$$

При $\Omega^* = \omega$ и $k = 1$ имеем $^{n}/_{\psi(n,1)} \geq 3$.

Структурную жизнестойкость системы можно определить следующим образом. Пусть структура СЗИП задана графом $R(V,k)$ [5], причем между множеством вычислительных элементов и множеством вершин графа V, а также между множеством каналов связи (КС) и множеством ребер графа D существуют взаимно-однозначные соотношения.

Жизнестойкость соединения вершин $s \in V$ (истока), из которой начинается информационный поток, с вершиной $t \in V - s$ (стоком), в которой поток должен закончиться, определяется выражением:

$$\Gamma(s,t) = \frac{g_0(s,t)}{g_1(s,t)} \cdot \frac{\overline{g_1}(s,t) - \overline{g_{min}}(s,t)}{\overline{g_0}(s,t) - \overline{g_{min}}(s,t)}, \tag{5}$$

где $g(s,t)$ – пропускная способность (проводимость) соединения истока s со стоком t. Структурную жизнестойкость системы можно характеризовать минимальным значение

$$\Gamma(R) = \min_{\substack{s,t \in V \\ s \neq t}}\{\Gamma(s,t)\}, \tag{6}$$

а также следующим значением:

$$\overline{\Gamma}(R) = \sum_{\substack{s,t \in V \\ s \neq t}} \Gamma(s,t) \Big/ A_M^2,$$

где A_M^2 – число размещений из M элементов по два (M – число вычислительных элементов в системе, $M = |V|$).

Пусть каждая вершина $\chi \in V$ графа $R(V,D)$ смежная некоторому множеству вершин $Y \in V$, потоки в ребрах (x,y)ограничены сверху, т.е. ребра имеют ограниченную пропускную способность [5...8] или ограниченную проводимость $g(x,y)$. Через $a(x,y)$ обозначим стоимость прохождения единицы потока по ребру (x,y), численно равную величине задержки единицы информации (пакета, блока, сообщения и т.д.) в этом ребре. Очевидно, что $a(x,y) = g^{-1}(x,y)$.

Для определения $g(x,y)$ соединения исток s со стокомt направим из s в t максимальный поток, стоимость которого минимальна. Для поиска указанного оптимального потока используем алгоритм, в котором поочередно решаются задачи о кратчайшем пути и максимальном потоке [7, 8]. Решение достигается последовательным наращиванием разрешенной стоимости прохождения единицы потока из истока до момента прибытия его в сток. По найденным таким образом путям минимальной стоимости посылается максимально возможный поток с учетом пропускной способности ребра. Затем проводится модификация проводимости ребер с учетом пропускаемого потока; насыщенные ребра, в которых поток равен проводимости, исключаются из дальнейшего рассмотрения, и осуществляется возврат в начало алгоритма. Работа алгоритма завершается, если из-за насыщения ребра невозможно пропустить ни одой дополнительной единицы потока из s в t.

Выводы. В работе предлагаются показатели, характеризующие жизнестойкость систем защиты информационного пространства как меру сохранения устойчивости их функционирования в условиях неизбежных отказов, которые возникают при неизбежном человеческом факторе. Предлагается метод расчета жизнестойкости систем по производительности, а так же методика расчета структурной жизнестойкости.

Литература

1. Евреинов Э. В. Однородные вычислительные системы / Э. В. Евреинов, В. Г. Хорошевский. – Новосибирск : Наука, 1978. – 319 с.

2. Дмитриев Ю. К. Вычислительные системы и мини-ЭВМ / Ю. К. Дмитриев, В. Г. Хорошевский. – Москва : Радио и связь, 1982. – 304 с.

3. Бойченко О. В. Модель корпоративного інформаційного захисту об'єкту інформатизації / О. В. Бойченко, Я. І. Торошанко Я. І. // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2011. – №4(20). – С. 15-19.

4. Бриль В. М. Требования к автоматизированным средствам контроля технического состояния систем защиты информации / В. М. Бриль, Е. В. Иванченко, В. А. Хорошко // Інформаційна безпека. – 2013. – №2(10). – С.19-25.

5. Харари Ф. Теория графов / Ф. Харари. – Москва : Мир, 1973. – 300 с.

6. Оре О. Теория графов / О. Оре. – Москва : Наука, 1980. – 336 с.

7. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / Э. Майника. – Москва : Мир, 1981. – 323 с.

8. Кристофидес Н. Теория графов: алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – Москва: Мир, 1978. – 432 с.