УДК 519.718

В.А. РОМАНКЕВИЧ, Т.Г. САПСАЙ, А.А. ЕФРЕМОВА

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина

GL-МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННЫХ 3-OUT-OF-N:F, 3_{IC}-OUT-OF-N:G СИСТЕМ

В настоящее время системы k-out-of-n находят широкое применение. Для расчета надежности таких систем предложено немало алгоритмов, однако большинство из них ориентированы на системы, элементы которых имеют одинаковую вероятность отказа. GL-модели являются в этом смысле более универсальными: расчет надежности системы выполняется путем проведения статистических экспериментов с моделью и может быть выполнен для системы с различными надежностными характеристиками ее компонентов. В статье представлен алгоритм построения GL-модели для расчета надежности комбинированных 3-out-of-n:F, 3_{ic}-out-of-n:G систем. Доказывается адекватность модели поведению системы в потоке отказов. Вводится понятие инверсно-последовательной k_{ic}-out-of-n системы.

Ключевые слова: *Отказоустойчивые многопроцессорные системы, графо-логические модели, надёжность.*

Введение

Сфера применения k-out-of-n систем весьма обширна (промышленные и телекоммуникационные объекты, информационно-вычислительные комплексы и т.д.). Нередко к их надежности выдвигаются повышенные требования.

Для расчета надежности таких систем предложено немало алгоритмов [1, 2], однако большинство из них ориентированы на системы, элементы которых имеют одинаковую вероятность отказа. В случае различной надежности компонентов сложность расчета значительно повышается. Кроме того, такие алгоритмы нередко используются для моделирования систем, которые не являются, строго говоря, k-out-of-n системами. С ростом различий между используемым алгоритмом и реальной системой погрешность результата увеличивается [3].

В связи с этим интерес представляют графологические модели (далее GL-модели), которые являются более универсальными [4, 5]. Расчет надежности системы выполняется путем проведения статистических экспериментов с GL-моделью, и его сложность в большей мере зависит от сложности GL-модели и в меньшей – от надежностных характеристик компонентов системы.

Существенным преимуществом GL-моделей является также сравнительная простота их преобразования при необходимости отображения трансформации базовых систем в небазовые [4].

В данной работе представлена GL-модель для расчета надежности комбинированных 3-out-of-n:F и инверсно-последовательных 3_{ic}-out-of-n:G систем.

1. Основные определения

Система, состоящая из n компонентов и являющаяся работоспособной в случае, если не менее k ее компонентов функционируют надлежащим образом, называется k-out-of-n:G («is Good»).

Система, которая состоит из n компонентов и которая выходит из строя в случае, если не менее k ее компонентов отказали, называется k-out-of-n:F («Fails»).

Исходя из данных определений, можно сделать вывод, что системы k-out-of-n:G и (n-k+1)-out-of-n:F являются эквивалентными, поэтому нередко такие системы обобщенно называют k-out-of-n.

Графо-логическая модель (далее GL-модель) системы, состоящей из n процессоров, представляет собой неориентированный граф G, каждому ребру которого соответствует булева функция. Аргументами рёберных функций являются индикаторные переменные x_i (i = 1, … , n), равные 1 (i-й элемент системы работоспособен) или 0 (i-й элемент системы вышел из строя). Ребро удаляется из графа GL-модели, если соответствующая ему рёберная функция принимает значение 0. Связность графа моделирует работоспособность системы.

Последовательная система k_c-out-of-n представляет собой упорядоченную последовательность компонентов, которая работает (отказывает) тогда и только тогда, когда работоспособны (отказали) не менее чем k ее последовательных компонентов [2]. В зависимости от того, замкнута ли цепочка компонентов, последовательные системы делят на линейные и циклические.

Инверсно-последовательная система соединяет в себе одновременно свойства последовательных k_c-out-of-n:G и k_c-out-of-n:F систем. Инверсно-последовательная система k_{ic}-out-of-n:G – это упорядоченная последовательность компонентов, которая работает тогда и только тогда, когда отказали не более, чем k ее последовательных компонентов. Инверсно-последовательная система является разновидностью неполных k-out-of-n систем [3]. Примером такой системы может служить система, использующая отказоустойчивые сдвиговые регистры.

В данной работе представлена GL-модель системы, которая остается работоспособной при появлении любого из двукратных отказов либо отказов трех компонентов, расположенных последовательно, при этом для систем с четным и нечетным количеством модулей алгоритмы построения GL-модели имеют различия.

2. GL-модель комбинированных 3-out-of-n:F, 3_{ic}-out-of-n:G систем

2.1. Системы с нечетным количеством модулей

Покажем, что GL-модель ($M_{НЧ}$) циклической комбинированной 3-out-of-n:F, 3_{ic}-out-of-n:G системы с нечетным количеством модулей ($S_{НЧ}$) может быть представлена циклическим неориентированным графом, каждому ребру которого приписывается функция вида:

$$h_i = x_i \vee T_i, \tag{1}$$

где n – количество ребер графа G; i = 1, … , n;

$$T_i = \prod_{k=1,\frac{n-3}{2}} x_{(i+2k)\bmod\ n\ +\ 1}\,. \tag{2}$$

Пример 1: реберные функции циклической GL-модели комбинированной 3-out-of-7:F, 3_{ic}-out-of-7:G системы:

$h_1 = x_1 \vee x_4 x_6$ $\qquad h_5 = x_5 \vee x_1 x_3$

$h_2 = x_2 \vee x_5 x_7$ $\qquad h_6 = x_6 \vee x_2 x_4$

$h_3 = x_3 \vee x_6 x_1$ $\qquad h_7 = x_7 \vee x_3 x_5$

$h_4 = x_4 \vee x_7 x_2$

Для обоснования адекватности модели $M_{НЧ}$ поведению системы $S_{НЧ}$ в потоке отказов нам понадобятся утверждения 1-3.

Утверждение 1: при отказе любых двух модулей i и j системы $S_{НЧ}$ граф модели $M_{НЧ}$ остается связным.

Доказательство: предположим обратное. Пусть при появлении двух отказов граф GL-модели теряет связность, т.е. более чем одна реберная функция принимает значение 0:

$$\begin{cases} h_i = 0; \\ h_j = 0. \end{cases}$$

В силу свойств дизъюнкции для этого достаточно, чтобы выполнялись следующие условия:

$$\begin{cases} x_i \in T_j \\ x_j \in T_i \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i = (j + 2k_j) \bmod n + 1; \\ j = (i + 2k_i) \bmod n + 1. \end{cases}$$

где $\qquad k_i, k_j \in \{1, \ldots, \frac{n-3}{2}\}.$

Тогда:

$$i = (j + 2k_j) \bmod n + 1 =$$

$$((i + 2k_i) \bmod n + 1 + 2k_j) \bmod n + 1;$$

$$i - 1 + nm_1 = (i + 2k_i) \bmod n + 1 + 2k_j,$$

$$i - 2 + nm_1 - 2k_j + nm_2 = i + 2k_i,$$

$$2k_i + 2 + 2k_j = nm_1 + nm_2,$$

где $m_1 \in \{0,1\}$; $m_2 = 1 - m_1$.

Тогда $: 2(k_i + k_j + 1) = n; \quad k_i + k_j + 1 = \frac{n}{2}.$

Поскольку известно, что k_i, k_j – целые числа, а n – нечетное число, то последнее равенство не имеет решения, следовательно, предположение, высказанное в начале доказательства, неверно и утверждение 1 справедливо.

Утверждение 2: при отказе любых трех последовательных модулей системы $S_{НЧ}$ граф модели $M_{НЧ}$ остается связным.

Доказательство: пусть отказали последовательные модули с номерами i_1, i_2, i_3, где

$$i_2 = i_1 \bmod n + 1,$$

$$i_3 = i_1 \bmod n + 2.$$

Из (2) следует, что

$$\begin{cases} x_{i_1} \notin T_{i_2}, x_{i_1} \in T_{i_3}; \\ x_{i_2} \notin T_{i_1}, x_{i_2} \notin T_{i_3}; \\ x_{i_3} \notin T_{i_1}, x_{i_3} \notin T_{i_2}, \end{cases}$$

т.е., значение 0 принимает только одна функция h_{i_3} и граф модели остается связным.

Утверждение 3: при отказе любых трех непоследовательных модулей системы $S_{НЧ}$ граф модели $M_{НЧ}$ теряет связность.

Доказательство: для начала докажем тот факт, что для непоследовательных элементов:

$$\text{åñëè } x_j \in T_{x_i}, \text{ òî } x_i \notin T_{x_j}; \tag{3}$$

$$\text{åñëè } x_j \notin T_{x_i}, \text{ òî } x_i \in T_{x_j}. \tag{4}$$

Справедливость (3) следует из доказательства утверждения 1.

Докажем (4).

$$\begin{cases} x_i \in T_j \\ x_j \notin T_i \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i = (j + 2k_j) \bmod n + 1; \\ j = (i + 2k_i) \bmod n, \end{cases}$$

где $\begin{cases} k_j \in \left\{1, \ldots, \dfrac{n-3}{2}\right\}; \\ k_i \in \left\{1, \ldots, \dfrac{n-1}{2}\right\}. \end{cases}$

Тогда

$$i = (j + 2k_j) \bmod n + 1 = (i + 2k_i) \bmod n + 2k_j) \bmod n + 1,$$

$$i - 1 + nm_1 = (i + 2k_i) \bmod n + 2k_j,$$

$$i - 1 + nm_1 - 2k_j + nm_2 = i + 2k_i,$$

$$2k_i + 2k_j + 1 = nm_1 + nm_2,$$

где $m_1 \in \{0,1\}$; $m_2 = 1 - m_1$.

Тогда $2(k_i + k_j) + 1 = n;\quad k_i + k_j = \frac{n-1}{2}.$

Последнее равенство всегда имеет решение для заданных значений k_i è k_j.

Вернемся к доказательству утверждения 3. Пусть отказали модули с номерами i_1, i_2, i_3. Рассмотрим различные варианты взаимоположения номеров отказавших модулей.

1) Пусть

$$\begin{cases} x_{i_2} \in T_{i_1} \\ x_{i_3} \in T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{i_1} \notin T_{i_2}, x_{i_1} \notin T_{i_3} \\ x_{i_2} \in T_{i_1}, x_{i_2} \in T_{i_3} \\ x_{i_3} \in T_{i_1}, x_{i_3} \notin T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h_{i_1} = 0; \\ h_{i_2} = 1; \\ h_{i_3} = 0. \end{cases}$$

2) Пусть $x_{i_2} \notin T_{i_1}; x_{i_3} \notin T_{i_1}$:.

а) $i_2 = (i_1 + 1) \bmod n$:

$$\begin{cases} x_{i_2} \notin T_{i_1} \\ x_{i_3} \notin T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{i_1} \notin T_{i_2}, x_{i_1} \in T_{i_3} \\ x_{i_2} \notin T_{i_1}, x_{i_2} \notin T_{i_3} \\ x_{i_3} \notin T_{i_1}, x_{i_3} \in T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h_{i_1} = 1; \\ h_{i_2} = 0; \\ h_{i_3} = 0. \end{cases}$$

Граф теряет связность, так как две реберные функции принимают значение 0.

б) $i_2 \neq (i_1 + 1) \bmod n$:

$$\begin{cases} x_{i_2} \notin T_{i_1} \\ x_{i_3} \notin T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{i_1} \in T_{i_2}, x_{i_1} \in / \notin T_{i_3} \\ x_{i_2} \notin T_{i_1}, x_{i_2} \in T_{i_3} \\ x_{i_3} \notin T_{i_1}, x_{i_3} \notin T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h_{i_2} = 1; \\ h_{i_2} = 0; \\ h_{i_3} = 0. \end{cases}$$

3) Пусть $x_{i_2} \notin T_{i_1}; x_{i_3} \notin T_{i_1}$:

а) $i_2 = (i_1 + 1) \bmod n$:

$$\begin{cases} x_{i_2} \notin T_{i_1} \\ x_{i_3} \notin T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{i_1} \notin T_{i_2}, x_{i_1} \in T_{i_3} \\ x_{i_2} \notin T_{i_1}, x_{i_2} \notin T_{i_3} \\ x_{i_3} \notin T_{i_1}, x_{i_3} \in T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h_{i_1} = 1; \\ h_{i_2} = 0; \\ h_{i_3} = 0. \end{cases}$$

б) $i_2 \neq (i_1 + 1) \bmod n$

$$\begin{cases} x_{i_2} \notin T_{i_1} \\ x_{i_3} \in T_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{i_3} \in T_{i_1}; \\ \left[\begin{array}{l} x_{i_2} \in T_{i_3}; \\ x_{i_3} \in T_{i_2}. \end{array}\right. \end{cases}$$

В последнем случае значение 0 принимают либо 2, либо 3 функции, одна из которых всегда h_{i_1}, т.е. граф модели теряет связность.

Очевидно, что при отказе более 3 модулей с любым взаимоположением граф модели МНЧ теряет связность.

Рассмотренные в утверждениях 1-3 случаи представляют все возможные варианты распределения отказов в системе SНЧ, что доказывает адекватность модели.

Для получения модели линейной комбинированной 3-out-of-n:F, 3ic-out-of-n:G системы с нечетным количеством модулей достаточно преобразовать формулу первой реберной функции к следующему виду:

$$T_1 = (x_2 \vee x_n) \prod_{k=1,\frac{n-3}{2}} x_{(1+2k) \bmod n\ +\ 1}\ .$$

2.2. Системы с четным количеством модулей

Покажем, что GL-модель ($M_Ч$) циклической комбинированной 3-out-of-n:F, 3_{ic}-out-of-n:G системы с четным количеством модулей ($S_Ч$) может быть представлена циклическим неориентированным графом, каждому ребру которого приписывается функция вида:

$$h_i = x_i \vee T_{1i} T_{2i} \vee p_i, \tag{5}$$

где n – количество вершин графа G;

i = 1, … , n;

$$T_{1i} = \prod_{k=1,\left]\frac{n-i}{2}\right[} (i + 2k_i); \tag{6}$$

$$T_{2i} = \prod_{s=1,\left]\frac{i-1}{2}\right[-i \bmod 2} (i + 2(i \bmod 2) - 1 - 2s_i); \tag{7}$$

$$p_i = \begin{cases} 0, \text{ äëÿ } i \neq n; \\ \overline{x_1 \vee x_n \vee x_2 x_{n-1}} \quad \text{äëÿ } i = n, \end{cases}$$

$\left]\frac{n-i}{2}\right[$ –- целая часть дроби $\frac{n-i}{2}$.

Несмотря на видимую громоздкость формул (6) и (7), представленная GL-модель достаточно проста.

Пример 2: реберные функции GL-модели циклической комбинированной 3-out-of-12:F, 3_{ic}-out-of-12:G системы:

$h_1 = x_1 \vee x_3 x_5 x_7 x_9 x_{11}$	$h_7 = x_7 \vee x_9 x_{11} x_2 x_4$
$h_2 = x_2 \vee x_4 x_6 x_8 x_{10} x_{12}$	$h_8 = x_8 \vee x_{10} x_{12} x_1 x_3 x_5$
$h_3 = x_3 \vee x_5 x_7 x_9 x_{11}$	$h_9 = x_9 \vee x_{11} x_2 x_4 x_6$
$h_4 = x_4 \vee x_6 x_8 x_{10} x_{12} x_1$	$h_{10} = x_{10} \vee x_{12} x_1 x_3 x_5 x_7$
$h_5 = x_5 \vee x_7 x_9 x_{11} x_2$	$h_{11} = x_{11} \vee x_2 x_4 x_6 x_8$
$h_6 = x_6 \vee x_8 x_{10} x_{12} x_1 x_3$	$h_{12} = x_{12} \vee x_1 x_3 x_5 x_7 x_9 \vee \overline{x_1 \vee x_{12} \vee x_2 x_{11}}$

Для обоснования адекватности модели МЧ поведению системы SЧ в потоке отказов нам понадобятся утверждения 4-6.

Утверждение 4: при отказе любых двух модулей i и j системы SЧ граф модели МЧ остается связным.

Доказательство: предположим обратное. Пусть при появлении двух отказов граф GL-модели теряет связность, т.е. более чем одна реберная функция принимает значение 0:

$$\begin{cases} h_i = 0; \\ h_j = 0. \end{cases}$$

Для этого достаточно, чтобы выполнялось одно из следующих трех условий:

1) Пусть $\begin{cases} x_i \in T_{1j} \\ x_j \in T_{1i} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i = j + 2k_j; \\ j = i + 2k_i. \end{cases}$

Тогда

$$i = j + 2k_j = i + 2k_i + 2k_j,$$

$$2k_i + 2k_j = 0. \tag{8}$$

Поскольку известно, что k_i, k_j — целые числа, большие 0, то равенство (8) не имеет решения.

2) Пусть

$$\begin{cases} x_i \in T_{1j} \\ x_j \in T_{2i} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i = j + 2k_j; \\ j = i + 2(i \bmod 2) - 1 - 2s_i. \end{cases}$$

Тогда

$$i = j + 2k_j = i + 2(i \bmod 2) - 1 - 2s_i + 2k_j,$$

$$2k_j + 2(i \bmod 2) - 2s_i = 1,$$

$$k_j + (i \bmod 2) - s_i = \frac{1}{2}. \tag{9}$$

Поскольку известно, что k_j, s_i и $i(\bmod 2)$ – целые числа, то равенство (9) не имеет решения.

Пусть

$$\begin{cases} x_i \in T_{2j} \\ x_j \in T_{2i} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i = j + 2(j \bmod 2) - 1 - 2s_j; \\ j = i + 2(i \bmod 2) - 1 - 2s_i. \end{cases}$$

Тогда

$$i = j + 2(j \bmod 2) - 1 - 2s_j =$$

$$= i + 2(i \bmod 2) - 1 - 2s_i +$$

$$+ 2(i \bmod 2) - 1 - 2s_i + 2k_j,$$

$$s_i + s_j + 1 = i \bmod 2 + j \bmod 2.$$

Из формул (6) и (7) следует, что, если i – четное число, то T_{1i} также содержит четные элементы, а T_{2i} - нечетные. И наоборот: если i – нечетное число, то T_{1i} также содержит нечетные элементы, а T_{2i} - четные. При этом элементы из T_{1i} больше i, а элементы из T_{1i} меньше i.

Следовательно, i – четное число, то j – нечетное, и наоборот. Т.е.

$$i \bmod 2 + j \bmod 2 = 1;$$

$$s_i + s_j + 1 = 1;$$

$$s_i + s_j = 0. \tag{10}$$

Поскольку известно, что s_i, s_j - целые числа, большие 0, то равенство (10) не имеет решения. Ни одно из равенств (8), (9), (10) не имеет решения, следовательно, предположение, высказанное в начале доказательства, неверно, а утверждение 4 справедливо. Приведенное доказательство является достаточным для любого значения p_i.

Утверждение 5: при отказе любых трех последовательных модулей системы SЧ граф модели МЧ остается связным.

Доказательство: пусть отказали последовательные модули с номерами i_1, i_2, i_3, где

$$i_2 = i_1 \bmod n + 1;$$

$$i_3 = i_1 \bmod n + 2.$$

Из формул (6) и (7) следует, что для всех комбинаций (i_1, i_2, i_3), кроме $(n-1, n, 1)$ и $(n, 1, 2)$, справедливы следующие равенства:

$$\begin{cases} x_{i_1} \notin T_{1i_2}, x_{i_1} \notin T_{2i_2}, x_{i_1} \notin T_{1i_3}, x_{i_1} \notin T_{2i_3}; \\ x_{i_2} \notin T_{1i_1}, x_{i_2} \notin T_{2i_1}, x_{i_2} \notin T_{1i_3}, x_{i_2} \notin T_{2i_3}; \\ x_{i_3} \in T_{1i_1}, x_{i_3} \notin T_{2i_1}, x_{i_3} \notin T_{1i_2}, x_{i_3} \notin T_{2i_2}. \end{cases}$$

т.е., значение 0 принимает только одна функция h_{i_1} и граф модели остается связным.

В случае одновременного отказа модулей $(n-1, n, 1)$:

$$\begin{cases} x_{i_1} \notin T_{1i_2}, x_{i_1} \notin T_{2i_2}, x_{i_1} \in T_{1i_3}, x_{i_1} \notin T_{2i_3}; \\ x_{i_2} \notin T_{1i_1}, x_{i_2} \notin T_{2i_1}, x_{i_2} \notin T_{1i_3}, x_{i_2} \notin T_{2i_3}; \\ x_{i_3} \notin T_{1i_1}, x_{i_3} \notin T_{2i_1}, x_{i_3} \in T_{1i_2}, x_{i_3} \notin T_{2i_2}, \end{cases}$$

т.е., значение 0 принимает только функция h_{i_3}, а функция h_{i_2} равна 1 за счет компоненты p_{i_2}, и граф модели остается связным.

Аналогично, в случае одновременного отказа модулей $(n, 1, 2)$:

$$\begin{cases} x_{i_1} \notin T_{1i_2}, x_{i_1} \notin T_{2i_2}, x_{i_1} \in T_{1i_3}, x_{i_1} \notin T_{2i_3}; \\ x_{i_2} \notin T_{1i_1}, x_{i_2} \in T_{2i_1}, x_{i_2} \notin T_{1i_3}, x_{i_2} \notin T_{2i_3}; \\ x_{i_3} \notin T_{1i_1}, x_{i_3} \notin T_{2i_1}, x_{i_3} \notin T_{1i_2}, x_{i_3} \notin T_{2i_2}, \end{cases}$$

т.е., значение 0 принимает только функция h_{i_2}, а функция h_{i_1} равна 1 за счет компоненты p_{i_2}, и граф модели остается связным.

Утверждение 6: при отказе любых трех непоследовательных модулей системы $S_Ч$ граф модели $M_Ч$ теряет связность.

Доказательство: ход доказательства аналогичен доказательству утверждения 3. Очевидно, что при отказе более 3 модулей с любым взаимоположением граф модели МЧ теряет связность.

Рассмотренные в утверждениях 4-6 случаи представляют все возможные варианты распределения отказов в системе SЧ, что доказывает адекватность модели. Для получения модели линейной комбинированной 3-out-of-n:F, 3ic-out-of-n:G системы с четным количеством модулей достаточно использовать следующее значение p_i :

$$p_i = \begin{cases} 0, \text{ для } i \neq n; \\ \overline{x_1 \vee x_{n-1} \vee x_{n-1}}, \text{ для } i = n. \end{cases}$$

Заключение

В данной работе предложена GL-модель системы, которая остается работоспособной при появлении любого из двукратных отказов либо отказов трех компонентов, расположенных последовательно. Важным достоинством таких GL-моделей является простота формирования рёберных функций и определения связности графа G, что приводит к сокращению времени проведения статистического эксперимента с моделью и, следовательно, повышению точности расчета надежности системы за заданный промежуток времени. Следует отметить, что представленные в работе результаты были получены в ходе исследований, связанных с преобразованием моделей базовых систем в модели небазовых путем изменения реберных функций. Основой для описанной модели послужила GL-модель базовой 3-out-of-n:F системы, предложенной в [5].

Литература

1. *Gera E. Combined k-out-of-n:G, and Consecutive kc-out-of-n:G systems / E. Gera // IEEE Transactions on Reliability. – 2004. – Vol. R-53. – P. 523-531.*
2. *Lin M. An O(k2 log(n)) algorithm for computing the reliability of consecutive-k-out-of-n:F systems / Lin M.S. // IEEE Transactions on Reliability. – 2004. – Vol. R-53. – P. 3-6.*
3. *Behr A. Two formulas for computing the reliability of incomplete k-out-of-n:G systems / Behr A., L. Camarinopoulos // IEEE Transactions on Reliability. – 1997. – 46. – 1997. - P. 421-429.*
4. *Романкевич А.М. Графо-логические модели для анализа сложных отказоустойчивых вычислительных систем / А.М. Романкевич, Л.Ф. Карачун, В.А. Романкевич // Электронное моделирование. - 2000. – Т. 23, № 1. - С.102-111.*
5. *Романкевич О.М. До питання побудови моделі поведінки багатомодульних систем / О.М. Романкевич, Л.Ф. Карачун, В.О. Романкевич // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 1998. – № 1. – с. 38-40.*

Поступила в редакцию 30.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры СКС, В.Г. Зайцев, Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев.

GL-МОДЕЛЬ КОМБІНОВАНИХ 3-OUT-OF-N:F, 3_{IC}-OUT-OF-N:G СИСТЕМ

В.О. Романкевич, Т.Г. Сапсай, Г.А. Єфремова

Сьогодні системи *k*-out-of-*n* мають широке застосування. Для розрахунку надійності таких систем існує немало алгоритмів, проте більшість з них орієнтовані на системи, елементи яких мають однакову ймовірність відмови. *GL*-моделі в цьому сенсі є більш універсальними: розрахунок надійності системи виконується шляхом проведення статистичних експериментів з моделлю та може бути виконаний для системи з різними характеристиками надійності її компонентів.В статті наведено алгоритм побудови *GL*-моделі для розрахунку надійності комбінованих 3-out-of-*n*:F, 3_{ic}-out-of-*n*:G систем. Доводиться адекватність моделі поведінці системи в потоці відмов. Вводиться поняття інверсно-послідовної k_{ic}-out-of-*n* системи.

Ключові слова: відмовостійкі багатопроцесорні системи, графо-логічні моделі, бульові функції, надійність.

GL-MODEL OF COMBINED 3-OUT-OF-N:F, 3_{IC}-OUT-OF-N:G SYSTEMS

V.A. Romankevich, T.G. Sapsay, A.A. Yefremova

Currently k-out-of-n systems are widely used. There are a lot of algorithms for such systems reliability estimation but most of them are designed for systems which all components have the same fault probability. The GL-models are more universal from this point of view: reliability is calculated by performing of statistic experiments with model and may be estimated for systems which components have different fault probability. In this article the GL-model of combined 3-out-of-n:F, 3ic-out-of-n:G systems is described. It's shown that the model reflects system's behavior in faults flow sufficiently. The inversed-consecutive kic-out-of-n system notion is introduced.

Key words: fault-tolerant multiprocessor systems, graph-logical models, Boolean functions, reliability.

Романкевич Виталий Алексеевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры СКС Национального технического университета Украины «КПИ», Киев,Украина, e-mail: romankev@scs.ntu-kpi.kiev.ua.

Сапсай Татьяна Григорьевна – канд. техн. наук, доцент, доц. кафедры СКС Национального технического университета Украины «КПИ», Киев, НТУУ «КПИ», Украина.

Ефремова Анна Анатольевна – аспирантка Национального технического университета Украины «КПИ», Киев, НТУУ «КПИ», Украина.