

УДК 681.04

И.В. ЧУМАЧЕНКО, Я.В. ИЛЮШКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ АСУ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

В статье произведена оценка надежности системы обработки информации (СОИ) в системе остаточных классов (СОК). В качестве примера рассмотрена однобайтовая СОИ, для которой введен дополнительный резервный вычислительный тракт.

система обработки информации, вычислительный тракт, система остаточных классов, функциональное резервирование, структурное резервирование, марковский процесс, резервированная система, деградация системы, процессы переходов состояний системы

1. Постановка задачи

В настоящее время ведутся интенсивные исследования в области решения задачи обеспечения надежности, отказоустойчивости и живучести систем обработки информации (СОИ) АСУ, функционирующих в реальном времени [1 – 5].

В литературных источниках показано, что одним из эффективных направлений в области создания сверхнадежных и быстродействующих СОИ АСУ является применение непозиционной системы счисления в остаточных классах (СОК) [1, 4, 6 – 8]. На основании этого, исследования, посвященные разработке метода повышения надежности СОИ АСУ с учетом требований по производительности являются весьма важными и актуальными, как в настоящее время, так и в ближайшем будущем.

С целью определения подхода к анализу надежности конкретной структуры однобайтовой ($l = 1$) СОИ в СОК, заданной основаниями $m_1 = 3$, $m_2 = 4$, $m_3 = 5$, $m_4 = 7$ и контрольным основанием $m_5 = 17$, рассмотрим граф функционирования данной системы в режиме замены. В режиме функционирования системы, отказавшие информационные вычислительные тракты (ВТ), функционирующие по основаниям $\{m_i\}$; $i = \overline{1, 4}$, заменяются контрольным (ВТ) по основанию $m_5 = 17$. Далее после отказа следую-

щего ВТ при выполнении условия $\prod_{k=1}^r m_{ik} \leq m_5$ система $S(t)$ переходит на второй уровень замены (что соответствует функциональному резервированию в ПСС) [9, 10]. Целесообразно предположить, что вероятность отказа одновременно двух и более ВТ мала. Состояние системы $S(t)$ удобно представить в формализованном виде

$$(a_1 \square a_2 \square a_3 \square a_4 \square a_5),$$

где $a_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й ВТ работоспособен;} \\ 0, & \text{если } i\text{-й ВТ неработоспособен;} \end{cases}$

\square – знак операции конкатенации.

Исходное состояние $S_0(0)$ системы представимо в виде $S_0 = (1111.X)$, где X означает, что резервный ВТ работоспособен, но не подключен. Весь процесс переходов состояний системы представлен в табл. 1 и на рис. 1.

2. Цель статьи

Целью статьи является анализ функционирования СОИ АСУ в СОК, а также оценка влияния основных свойств класса вычетов (независимость, малоразрядность и равноправность остатков, представляющих операнд в СОК) на надежность и отказоустойчивость функционирования средств обработки информации специализированных АСУ.

Таблица 1

Таблица состояний СОИ ($l = 1, k = 1$) в СОК

| Перечень состояний $\Omega = \Omega_+ \cup \Omega_-$ | |
|--|-------------------------------|
| Первый уровень замены | Второй уровень замены |
| $S_0 = (1111. X)$ | $S_1 = (0111. 1)$ |
| $S_1 = (0111. 1)$ | $S_1^{(1)} = (0111. 1)$ |
| $S_2 = (1011. 1)$ | $S_1^{(2)} = (0011. 1)$ |
| $S_3 = (1101. 1)$ | $S_1^{(3)} = (0101. 1)$ |
| $S_4 = (1110. 1)$ | $S_1^{(4)} = (0110. 1)$ |
| | $S_1^{(5)} = (0111. 0)$ |
| Второй уровень замены | $S_2 = (1011. 1)$ |
| $S_4 = (1110. 1)$ | $S_2^{(1)} = (0011. 1)$ |
| $S_4^{(1)} = (0110. 1)$ | $S_2^{(2)} = (1011. 1)$ |
| $S_4^{(2)} = (1010. 1)$ | $S_2^{(3)} = (1001. 1)$ |
| $S_4^{(3)} = (1100. 1)$ | $S_2^{(4)} = (1010. 1) = S_5$ |
| $S_4^{(4)} = (1110. 1)$ | $S_2^{(5)} = (1011. 0)$ |
| $S_4^{(5)} = (1110. 0)$ | |
| | $S_3 = (1101. 1)$ |
| | $S_3^{(1)} = (0101. 1)$ |
| | $S_3^{(2)} = (1001. 1)$ |
| | $S_3^{(3)} = (1101. 1)$ |
| | $S_3^{(4)} = (1100. 1) = S_6$ |
| | $S_3^{(5)} = (1101. 0)$ |

3. Решение задачи

Для определения параметров надежности удобно составить и исследовать следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 P_0'(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)P_0(t); \\
 P_1'(t) &= -(\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)P_0(t) + \lambda_1 P_0(t); \\
 P_2'(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)P_2(t) + \lambda_2 P_0(t); \\
 P_3'(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_5)P_3(t) + \lambda_3 P_0(t); \\
 P_4'(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5)P_4(t) - \lambda_2 P_2(t) + \lambda_4 P_0(t); \\
 P_5'(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5)P_5(t) + \lambda_4 P_2(t) + \lambda_2 P_4(t); \\
 P_6'(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_5)P_6(t) + \lambda_4 P_3(t); \\
 P_7'(t) &= (\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)P_1(t) + \\
 &+ (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5)P_2(t) + \\
 &+ (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_5)P_3(t) + \\
 &+ (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5)P_4(t) + \\
 &+ (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5)P_5(t) + \\
 &+ (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_5)P_6(t).
 \end{aligned}$$

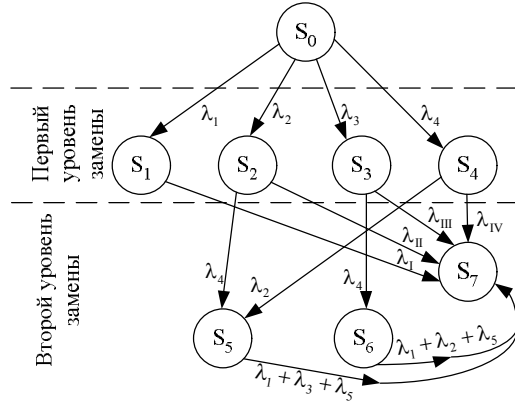


Рис. 1. Граф функционирования СОИ в СОК

Исследование и вычисление показателей надежности системы может упроститься, если воспользоваться формулами и математическими соотношениями для вероятностей состояний и переходных вероятностей марковского процесса. Известно, что динамика функционирования СОИ АСУ описывается марковским процессом $S(t)$. В этом случае вероятности состояний марковского процесса $S(t)$ можно выразить через его начальное распределение $P_i^{(0)} = P[S(0) = i]$, $i = \overline{0, n+1}$ (для $l = 1, k = 1, i = \overline{0, 7}$), а переходные вероятности

$$P_j(t) = P[S(t) = j] = \sum_{i=0}^{n+1} P_i^{(0)} P_{ij}(t).$$

Таким образом, как известно, распределение марковского процесса определяется с помощью начального распределения $P_i^{(0)}$ и переходных вероятностей $P_{ij}(t)$. В соответствии с графом состояния (рис. 1) переходные вероятности определяются совокупностью выражений:

$$\begin{aligned}
 P_{01} &= \lambda_1 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4); \\
 P_{02} &= \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4); \\
 P_{03} &= \lambda_3 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4); \\
 P_{04} &= \lambda_4 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4); \\
 P_{25} &= \lambda_4 / (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5); \\
 P_{27} &= (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5) / (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5); \\
 P_{36} &= \lambda_4 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_5); \\
 P_{37} &= (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_5) / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_5); \\
 P_{45} &= \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_5); \\
 P_{47} &= (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5) / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_5); \\
 P_{17} &= P_{57} = P_{67} = 1.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Используя соотношения (1), определим вероятности $P_i (i = \overline{1,7})$ состояний $S_i(t)$ процесса $S(t)$:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= P[S(t) = S_0]; \\
 P_1 &= P_0 P_{01}; \\
 P_2 &= P_0 P_{02}; \\
 P_3 &= P_0 P_{03}; \\
 P_4 &= P_0 P_{04}; \\
 P_5 &= P_0 P_{02} P_{05} + P_0 P_{04} P_{45}; \\
 P_6 &= P_0 P_{03} P_{36}; \\
 P_7 &= P_5 + P_6.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Совокупность математических соотношений (1) и (2) позволяет рассчитать надежностные характеристики СОИ в СОК с параметрами $l = 1, k = 1$. Нетрудно показать, что оценку надежности СОИ в СОК можно произвести по уже известным формулам [11] как для резервированной системы в ПСС. Эта оценка является нижней оценкой отказоустойчивости СОИ в СОК.

Оценим эффективность использования непозиционных кодовых структур в СОК как отношение числа $K_{\Omega_i}^{(СОК)}$ возможных работоспособных состояний системы $S(t)$ к числу $K_{\Omega_i}^{(ПСС)}$ работоспособных состояний резервированной системы в ПСС с четырьмя основными элементами и одним резервным.

$$\text{Получим } K_{эф} = \frac{K_{\Omega_i}^{(СОК)}}{K_{\Omega_i}^{(ПСС)}} = \frac{7}{5} = 1,4.$$

Рассмотрим конкретный граф функционирования СОИ в СОК для $l = 1$ с основаниями $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7, m_5 = m_k = 17 (k = 1)$ с одним уровнем деградации ($d = 1$). В данной системе $S(t)$ обнаруженные неработоспособные ВТ заменяются работоспособными ВТ (резервным ВТ по модулю $m_5 = 17$). После отказа резервного ВТ начинается деградация системы до уровня $d = d(W)$, определяемого заданной точностью, например, точностью $W > 50$ условных единиц. Граф функционирования СОИ в СОК (рис. 2.) показывает, что система изменяет свое состояние от исходного S_0 до совокупности работоспособных состояний $\{S_k\}, k = \overline{1,4}$ и да-

лее (что характерно для СОК) система переходит на второй уровень замены при условии $\prod_{i=1}^r m_i \leq m_5$ (состояния S'_5 и S'_6). Далее из состояний S'_5 и S'_6 СОИ деградирует в соответствующие состояния S''_7, S''_8 и S''_9 , и S''_{10} . Совокупность состояний $\{S_i\}$ называется поглощающей и соответствует отказу СОИ (состояние S_{11}). В соответствии с общей структурой СОИ в СОК количество работоспособных состояний ($S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S'_5, S'_6$) равно 7, количество деградирующих состояний ($S''_7, S''_8, S''_9, S''_{10}$) равно 4. Отметим, что система функционирует в предположении, что вероятность отказов одновременно в двух или более ВТ СОИ незначительна. Удобно обозначать состояние СОИ в виде пятиэлементного кода

$$(a_1 \square a_2 \square a_3 \square a_4 \square a_5),$$

где $a_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й ВТ работоспособен;} \\ 0, & \text{если } i\text{-й ВТ неработоспособен;} \end{cases}$

\square – знак операции конкатенации (присоединение).

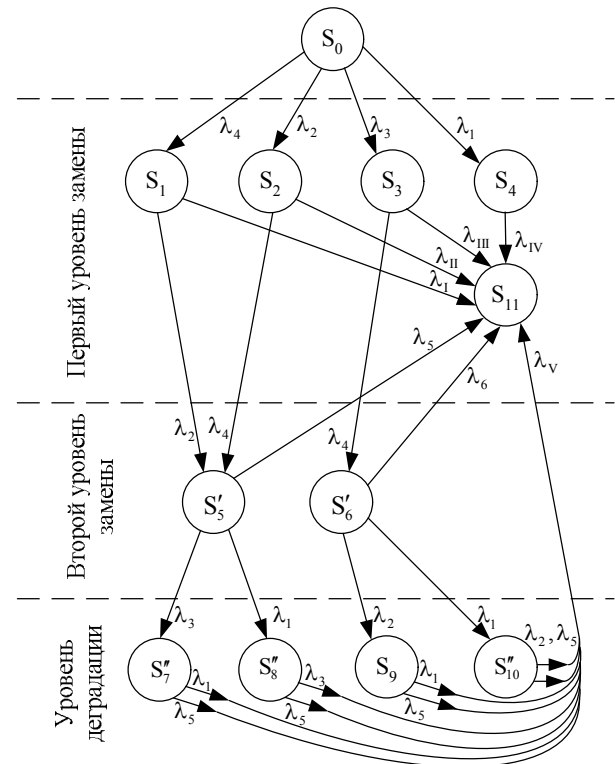


Рис. 2. Граф функционирования СОИ в СОК ($l = 1, k = 1$)

Для принятых обозначений совокупность состояний $\{S_j\}$ определяется следующим образом:

- исходное состояние системы

$S_0 = (1111.X)$, где значение X обозначает, что СОИ работоспособна (все информационные ВТ $m_1 - m_4$ работоспособны) и резервный (m_5) ВТ работоспособен, но не подключен;

- для первого уровня замены $S_1 = (1110.1)$; $S_2 = (1011.1)$; $S_3 = (1101.1)$; $S_4 = (0111.1)$;

- для второго уровня замены $S'_5 = (1010.1)$; $S'_6 = (1100.1)$;

- для уровня деградации $S''_7 = (1000.1)$; $S''_8 = (0010.1)$; $S''_9 = (1000.1)$ и $S''_{10} = (0100.1)$.

Совокупность поглощающих состояний представляется в виде:

$$S_1^{(1)} = (1110.0); S_2^{(1)} = (1011.0);$$

$$S_3^{(1)} = (1101.0); S_4^{(1)} = (1111.0);$$

$$S_1^{(2)} = (1100.1); S_2^{(2)} = (1001.1);$$

$$S_3^{(2)} = (1001.1); S_4^{(2)} = (0110.1);$$

$$S_1^{(3)} = (0110.1); S_2^{(3)} = (0011.1);$$

$$S_3^{(3)} = (0101.1); S_4^{(3)} = (0101.1);$$

$$S_4^{(4)} = (0011.1),$$

а также $S_5^{(1)} = (1010.0)$; $S_6^{(1)} = (1100.0)$.

Весь процесс переходов состояний системы $S(t)$ удобно представить в виде таблицы (табл. 2).

С учетом того, что два и более ВТ СОИ одновременно отказать не могут, пространство состояний Ω для процесса $S(t)$ представим в виде

$$\Omega = \Omega_+ \cup \Omega_- ,$$

Таблица 2

Таблица состояний СОИ ($l = 1, k = 1$) в СОК

| Перечень состояний $\Omega = \Omega_+ \cup \Omega_-$ | | | |
|--|--|------------------------|--|
| Первый уровень замены | Второй уровень замены | Метод деградации | Поглощающее состояние |
| $S_0 = (1111.X)$ | $S_1 = (1110.1)$ | $S'_5 = (1010.1)$ | $S''_7 = (1000.1)$ |
| $S_1 = (1110.1)$ $S_2 = (1011.1)$ $S_3 = (1101.1)$ $S_4 = (0111.1)$ | $S_1^{(1)} = (1110.0)$ $S_1^{(2)} = (1100.1)$ $S_1^{(3)} = (1010.1)$ $S_1^{(4)} = (0110.1)$ | $S_5^{(1)} = (1010.0)$ | $\begin{cases} 1000.0 \\ 0000.1 \end{cases}$ |
| | | $S_5^{(2)} = (1000.1)$ | |
| | | $S_5^{(3)} = (0010.1)$ | $S''_8 = (0010.1)$ |
| | | $S'_6 = (1100.1)$ | |
| Второй уровень замены | $S_2 = (1011.1)$ | $S_6^{(1)} = (1100.0)$ | $\begin{cases} 0010.0 \\ 0000.1 \end{cases}$ |
| | | $S_6^{(2)} = (1000.1)$ | |
| $S_3 = (1101.1)$ | $S_2^{(1)} = (1011.0)$ $S_2^{(2)} = (1010.1)$ $S_2^{(3)} = (1001.1)$ $S_2^{(4)} = (0011.1)$ | $S_6^{(3)} = (0100.1)$ | $S''_9 = (1000.1)$ |
| $S_3^{(1)} = (1101.1)$ | | | $\begin{cases} 1000.0 \\ 0000.1 \end{cases}$ |
| $S_3^{(2)} = (1100.1)$ | | | |
| $S_3^{(3)} = (1001.1)$ | | | $S''_{10} = (0100.1)$ |
| $S_3^{(4)} = (0101.1)$ | | | |
| $S_4 = (0111.1)$ | $S_4^{(1)} = (0111.0)$ $S_4^{(2)} = (0110.1)$ $S_4^{(3)} = (0101.1)$ $S_4^{(4)} = (0011.1)$ | | $\begin{cases} 0100.0 \\ 0000.1 \end{cases}$ |

где

$\Omega_+(S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S'_5, S'_6, S''_7, S''_8, S''_9, S''_{10})$ – фазовое пространство работоспособного состояния системы $S(t)$; $\Omega_-(S_1^{(1)}, S_1^{(2)}, S_1^{(4)}, S_2^{(1)}, S_2^{(3)}, S_2^{(4)}, S_3^{(1)}, S_3^{(3)}, S_3^{(4)}, S_4^{(1)}, S_4^{(2)}, S_4^{(3)}, S_4^{(4)}, S_5^{(1)}, S_6^{(1)})$ – фазовое пространство неработоспособного состояния системы $S(t)$.

Отметим, что для СОИ в СОК первый уровень замены соответствует структурному резервированию, а второй уровень замены – функциональному резервированию. Определим $K_{эф}$ как отношение числа $K_{\Omega_+}^{(СОК)}$ возможных работоспособных состояний СОИ в СОК к числу $K_{\Omega_+}^{(ПСС)}$ работоспособных состояний вычислительной системы в ПСС. Тогда в соответствии с данными табл. 2. получим:

$$K_{эф} = \frac{K_{\Omega_+}^{(СОК)}}{K_{\Omega_+}^{(ПСС)}} = \frac{11}{5} = 2,2,$$

т.е. можно сказать, что СОИ в СОК ($l = 1, k = 1$) более чем в два раза отказоустойчивей аналогичной вычислительной системы в ПСС.

Для анализа и оценки надежности СОИ в СОК необходимо найти зависимость, связывающую, например, вероятность безотказной работы $P_{СОИСОК}(t)$ с вероятностями безотказной работы $P_{io}(t)$ и вероятностями бессбойной работы $P_{i\bar{o}}(t)$ вычислительных трактов СОИ в СОК ($i = \overline{1,5}; l = 1$) и пр. Как указывалось в [1], СОИ в СОК имеет перестраиваемую структуру, а интенсивность отказов ВТ меняется скачком в случайный момент времени при перестройке структуры СОИ (отключение отказавшего ВТ, отключение отказавшего ВТ и подключение резервного ВТ). В общем случае для определения $P_{СОИСОК}(t)$ нельзя непосредственно применять известные формулы теории надежности. Для анализа надежности СОИ в СОК (рис. 2.) необходимо составить и исследовать систему дифференциальных уравнений (3):

$$\begin{aligned} P'_0(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)P_0(t); \\ P'_1(t) &= -(\lambda_2 + \lambda_I)P_1(t) + \lambda_4P_0(t); \\ P'_2(t) &= -(\lambda_4 + \lambda_{II})P_2(t) + \lambda_2P_0(t); \\ P'_3(t) &= -(\lambda_4 + \lambda_{III})P_3(t) + \lambda_3P_0(t); \\ P'_4(t) &= -\lambda_{IV}P_4(t) + \lambda_1P_0(t); \\ P'_5(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5)P_5(t) + \\ &\quad + \lambda_2P_1(t) + \lambda_4P_2(t); \\ P'_6(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)P_6(t) + \lambda_4P_3(t); \\ P'_7(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_5)P_7(t) + \lambda_3P_5(t); \\ P'_8(t) &= -(\lambda_3 + \lambda_5)P_8(t) + \lambda_1P_5(t); \\ P'_9(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_5)P_9(t) + \lambda_2P_6(t); \\ P'_{10}(t) &= -(\lambda_2 + \lambda_5)P_{10}(t) + \lambda_1P_6(t); \\ P'_{11}(t) &= \lambda_I P_1(t) + \lambda_{II} P_2(t) + \lambda_3 P_3(t) + \\ &\quad + \lambda_{IV} P_4(t) + (\lambda_2 + \lambda_5) P_{10}(t) + \\ &\quad + (\lambda_1 + \lambda_5) P_9(t) + (\lambda_3 + \lambda_5) P_8(t) + \\ &\quad + (\lambda_1 + \lambda_5) P_7(t) + \lambda_5 P_6(t) + \lambda_5 P_5(t), \end{aligned} \tag{3}$$

причем $\lambda_i = \lambda_{io} + \lambda_{ic}$, т.е. λ_i учитывает интенсивность λ_{io} отказов и сбоев λ_{ic} в системе $S(t)$. Начальные условия для системы (3) дифференциальных уравнений $P_0(0) = 1, P_{11}(0) = 0$. Для решения этой системы удобно использовать преобразование Лапласа вида

$$a_k(\hat{P}) = \int_0^{\infty} P_k(t) e^{-\hat{P}t} dt \Rightarrow a_k(\hat{P}) \square P_k(t).$$

Далее решается соответствующая система алгебраических уравнений

$$a_k(k = \overline{1,11}),$$

где

$$\begin{aligned} \lambda_I &= \lambda_5 + \lambda_3 + \lambda_1; \\ \lambda_{II} &= \lambda_5 + \lambda_3 + \lambda_1; \\ \lambda_{III} &= \lambda_5 + \lambda_2 + \lambda_1; \\ \lambda_{IV} &= \lambda_5 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_2; \\ \lambda_{IV} &= 4\lambda_5 + 2\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_2. \end{aligned}$$

Заключение

Таким образом, для получения и анализа надежных характеристик СОИ в СОК целесообразно использовать известные в ПСС модели (например, модель гибели) функционирования $S(t)$ СОИ, а

также известные математические формулы и соотношения (1), (2) с учетом свойств и специфики представления и обработки операндов в СОК. Кроме этого необходимо учитывать состояние, в котором находится резервный ВТ, надежность переключающих устройств, способ подключения резервных ВТ СОИ и пр. Например: модель скользящего резервирования с нагруженным резервом без учета влияния надежности переключающих устройств; модель скользящего резервирования с ненагруженным резервом с учетом надежности переключающих устройств и т.д. В [11] представлены рабочие формулы для определения надежностных характеристик СОИ в СОК, полученные путем решения систем уравнений аналогичных (1), (2), (3).

Литература

1. Фурман И.А., Краснобаев В.А. Новые возможности использования системы счисления в остаточных классах для построения высокоэффективных устройств обработки данных и управления // Вісник ХДТУСГ. – 2000. – Вип. 3. – С. 27 – 31.
2. Краснобаев В.А. Основы создания вычислителей на основе остаточных классов // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 1 (11). – С. 3 – 7.
3. Краснобаев В.А. Методы реализации модульных операций в системах цифровой обработки информации // Радиотехника. – 2001. – Вип. 119. – С. 130 – 134.
4. Краснобаев В.А. Особенности применения вычислительных средств в составе АСУ ТП мукомольного завода // Вісник ХДТУСГ. – 2001. – Вип. 5. – С. 187 – 191.
5. Жихарев В.Я., Юнес Эль Хандасси, Краснобаев В.А. Пути повышения производительности и отказоустойчивости ЭВМ // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2003. – Вип. 19. – С. 269 – 282.
6. Жихарев В.Я., Юнес Эль Хандасси, Краснобаев В.А. Методы и алгоритмы реализации арифметических операций в классе вычетов // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2003. – Вип. 20. – С. 84 – 101.
7. Краснобаев В.А., Кошман С.О. Застосування системи залишкових класів в машинній арифметиці // Вісник ХДТУСГ. – 2003. – Вип. 19. – С. 134 – 136.
8. Фурман И.А., Кошман С.А., Краснобаев В.А. Вариант синтеза процессора в системе остаточных классов // Радиоелектроника и информатика. – 2003. – Вип. 2 (23). – С. 94 – 96.
9. Краснобаев В.А., Ілюшко Я.В. Метод та обчислювальна система обробки інформації, що представлена в системі залишкових класів. // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 7. – С. 106 – 111.
10. Краснобаев В.А., Ілюшко Я.В. Методы обработки информации в системе остаточных классов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2004. – № 2. – С. 101 – 109.
11. Ілюшко Я.В. Математическая модель надежности спецпроцессора обработки информации АСУ специального назначения. // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 5 (52). – С. 28 – 30.

Поступила в редакцію 2.08.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.А. Фурман, Харьковский Государственный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Харьков.