

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ДАННЫХ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

**Аннотация.** Разработан метод повышения достоверности контроля данных, представленных в системе остаточных классов (СОК). Рассмотрены варианты применения предложенного метода контроля данных в СОК. Даны примеры конкретного выполнения операции контроля в системах передачи и обработки данных, функционирующих в СОК.

**Ключевые слова:** система остаточных классов, достоверность контроля данных, система передачи и обработки данных, позиционный признак непозиционного кода.

Значительное время, затраченное на контроль данных, приводит к снижению общей эффективности применения непозиционных кодовых структур (НКС) в системе остаточных классов (СОК) при реализации целочисленных арифметических и других модульных операций [1, 2].

Разработанные в настоящее время методы оперативного контроля данных в системах передачи и обработки данных (СПОД), функционирующих в СОК, позволяют существенно снизить время контроля, однако при этом возникает задача повышения достоверности этого контроля [3–5].

Цель настоящей статьи — разработка метода повышения достоверности контроля данных в СПОД, функционирующей в СОК.

Известный метод оперативного контроля данных в СОК основан на получении и использовании так называемого позиционного признака непозиционного кода (ППНК) [3]. Данный ППНК является одной из характеристик специального кода (СК), получаемого из исходной (контролируемой) НКС  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  данных, представленной в СОК основаниями  $\{m_i\}$  ( $i = \overline{1, n+1}$ ), с одним контрольным остатком  $a_{n+1}$  по контрольному основанию

(модулю)  $m_{n+1}$ , при этом  $M = \prod_{i=1}^n m_i$ ;  $M_0 = \prod_{i=1}^{n+1} m_i$ .

Рассмотрим процедуру получения ППНК на основе контролируемой НКС  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$ . В общем виде СК

$$K_N^{(n_A)} = \{Z_{N-1}^{(A)} Z_{N-2}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\} \quad (1)$$

представляет собой последовательность двоичных разрядов  $Z_K^{(A)}$  ( $K = \overline{0, N-1}$ ), состоящую из единиц и одного нуля, находящегося на  $n_A$ -м месте (считая справа налево от разряда  $Z_0^{(A)}$  до разряда  $Z_{N-1}^{(A)}$ ). Параметр  $n_A$  является ППНК непозиционной кодовой структуры  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  данных.

Исходя из математики параметр  $n_A$  представляет собой натуральное число, которое указывает на местоположение нулевого двоичного разряда  $Z_{n_A}^{(A)} = 0$  в записи СК  $K_N^{(n_A)}$ . Он определяет номер  $j_i$  числового интервала  $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$  нахождения числа  $A$ , т.е. значение  $n_A$  с определенной точностью  $W$ , которая зависит от значения величины модуля  $m_i$  СОК, определяет местоположение числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  на числовой оси  $0 \div M_0$ .

Вначале рассмотрим процедуру формирования СК  $K_N^{(n_A)}$ . Для выбранного основания  $m_i$  СОК (правила выбора основания  $m_i$  СОК будет изложено ниже) по значению остатка  $a_i$  числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  в блоке констант нулевизации (БКН) СПОД определяется константа вида  $KH_{m_i}^{(A)} = (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a_i, a'_{i+1}, \dots, a'_{n+1})$ .

Далее посредством выбранной константы  $KH_{m_i}^{(A)}$  нулевизации осуществляется операция вычитания

$$\begin{aligned} A_{m_i} &= A - KH_{m_i}^{(A)} = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1}) - \\ &\quad - (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n, a'_{n+1}) = \\ &= [a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, \dots, a_{i-1}^{(1)}, 0, a_{i+1}^{(1)}, \dots, a_n^{(1)}, a_{n+1}^{(1)}]. \end{aligned}$$

Эта операция соответствует смещению контролируемого числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  на левый край интервала  $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i]$  его первоначального (исходного) нахождения. В этом случае  $A_{m_i} = j_i \cdot m_i$ , т.е. число  $A_{m_i}$  кратно значению модуля  $m_i$  СОК.

Известно, что правильность числа  $A$  в СОК определяется его нахождением или ненахождением в числовом информационном интервале  $[0, M)$ . Если число  $A$  находится вне этого интервала ( $A \geq M$ ), то оно считается искаженным (неправильным). В этом случае по значению  $n_A$  необходимо провести контроль правильности или неправильности исходного числа  $A$  путем определения факта попадания или непадения исходного числа  $A$  в интервал  $[0, M)$ .

Чтобы определить факт нахождения числа в информационном числовом интервале  $[0, M)$ , необходимо провести совокупность операций вида

$$A_{m_i} - K_A \cdot m_i = Z_{K_A}^{(A)}. \quad (2)$$

Операции (2) проводится одновременно и параллельно во времени посредством совокупности из  $N$  констант  $K_A \cdot m_i$  ( $K_A = \overline{0, N-1}$ ) вида

$$\begin{cases} A_{m_i} - 0 \cdot m_i = Z_0^{(A)}, \\ A_{m_i} - 1 \cdot m_i = Z_1^{(A)}, \\ A_{m_i} - 2 \cdot m_i = Z_2^{(A)}, \\ \dots \\ A_{m_i} - (N_i - 2) \cdot m_i = Z_{N-2}^{(A)}, \\ A_{m_i} - (N_i - 1) \cdot m_i = Z_{N-1}^{(A)}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $N_i = \prod_{\substack{K=1; \\ K \neq i}}^{n+1} m_K$ . В этом случае СК представится в виде (1), а метод форми-

рования ППНК  $n_A$  в СОК представим следующим образом.

1. Выбор информационных  $\{m_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , и контрольного  $m_k = m_{n+1}$  ( $m_i < m_{i+1}$ ) оснований для представления данных  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  в СОК; НОД  $(m_i, m_j) = 1$ ,  $i \neq j$ .

2. Выбор основания  $m_i \in \{m_j\}$  ( $j = \overline{1, n+1}$ ), по которому определяется номер  $j_i$  числового интервала  $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$ , где находится число  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$ .

3. Определение по значению остатка  $a_i$  числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  константы нулевизации вида  $KH_{m_i}^{(A)} = (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n, a'_{n+1})$ .

4. Определение значения  $j_i \cdot m_i = A_{m_i} = A - KH_{m_i}^{(A)} = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1}) - (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a_i, a'_{i+1}, \dots, a'_n, a'_{n+1}) = [a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, \dots, a_{i-1}^{(1)}, 0, a_{i+1}^{(1)}, \dots, a_n^{(1)}, a_{n+1}^{(1)}]$ .

5. Определение СК  $K_N^{(n_A)} = \{Z_{N-1}^{(A)}, Z_{N-2}^{(A)}, \dots, Z_0^{(A)}\}$  в виде

$$K_{N_i}^{(n_A)} = \{Z_{N_i-1}^{(A)}, Z_{N_i-2}^{(A)}, \dots, Z_0^{(A)}\},$$

$$N = \prod_{\substack{K=1; \\ K \neq i}}^{n+1} m_K, \quad N_i = ]M / m_i[, \quad M = \prod_{i=1}^n m_i, \quad A_{m_i} - K_A \cdot m_i = Z_{K_A}^{(A)},$$

$$\begin{cases} A_{m_i} - 0 \cdot m_i = Z_0^{(A)}, \\ A_{m_i} - 1 \cdot m_i = Z_1^{(A)}, \\ \dots \\ A_{m_i} - (N-2) \cdot m_i = Z_{N-2}^{(A)}, \\ A_{m_i} - (N-1) \cdot m_i = Z_{N-1}^{(A)}. \end{cases}$$

6. Определение ППНК числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$ , а именно определение числового значения  $n_A$ , для которого  $Z_{K_A}^{(A)} = Z_{n_A}^{(A)} = 0$ , т.е.  $A_{m_i} - n_A \cdot m_i = 0$ ; при этом  $Z_l^{(A)} = 1$  ( $A_{m_i} - l \cdot m_i \neq 0$ ;  $l \neq n_A$ ).

В совокупности аналитических соотношений (3) существует единственное значение  $n_A$  из (2), для которого  $Z_{K_A}^{(A)} = Z_{n_A}^{(A)} = 0$  ( $K_A = n_A$ ), т.е.  $A_{m_i} - n_A \cdot m_i = 0$ . Остальные значения (2) равны  $Z_l^{(A)} = 1$  ( $A_{m_i} - l \cdot m_i \neq 0$ ;  $l \neq n_A$ ). В общем случае количество двоичных разрядов в записи СК  $K_N^{(n_A)}$  равно значению  $N$ . Отметим, однако, что для определения только факта искажения числа  $A$  нет необходимости иметь и анализировать всю последовательность из  $N$  совокупности значений  $Z_{K_A}^{(A)}$  СК  $K_N^{(n_A)}$ . Для этого достаточно иметь СК  $K_{N_i}^{(n_A)}$  длиной всего  $N_i = ]M / m_i[$  двоичных разрядов (величина  $]M / m_i[$  означает не меньшую целую часть числа  $M / m_i$ , т.е. проводится округление числа  $M / m_i$  до ближайшего целого в большую сторону).

Этот факт можно объяснить следующим образом. При проведении процедуры контроля для установления факта правильности числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  нет необходимости анализировать все числовые интервалы  $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$ , где находится искаженное число, расположенное вне информационного интервала  $[0, M)$ . В этом случае для установления только факта правильности числа  $A$  не имеет значения определение номеров и анализ местоположения этих интервалов  $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$ . Для контроля НКС  $A$  в СОК достаточно знать местоположение нуля в записи (1) СК (знать численное значение  $n_A$ ) только в числовых интервалах  $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$ , лежащих в информационном числовом интервале  $0 \div M$ , т.е. в находящемся после значения  $M$  первом интервале, расположенном на отрезке  $0 \div M_0$ . В этом случае для контроля данных  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  достаточно иметь СК  $K_{N_i}^{(n_A)}$  длиной всего  $N_i = ]M / m_i[$  двоичных разрядов.

Таким образом, метод контроля данных в СОК состоит в следующем.

1. Определение СК  $K_{N_i}^{(n_A)} = \{Z_{N_i-1}^{(A)} Z_{N_i-2}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$  числа  $A = (a_1, a_2, \dots, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$ .
2. Определение ППНК  $n_A: A_{m_i} - n_A \cdot m_i = 0, Z_{n_A}^{(A)} = 0; Z_l^{(A)} = 1, A_{m_i} - l \cdot m_i = 1; l \neq n_A$ .
3. Проведение процедуры контроля данных  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, \dots, a_n, a_{n+1})$  в СОК. Если  $n_A > N_i$ , то число  $A$  неправильное (искаженное). Если  $n_A \leq N_i$ , то число  $A$  правильное (неискаженное).

Для контролируемой НКС  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$ , представленной в СОК, определяется ППНК  $n_A$  путем формирования СК  $K_{N_i}^{(n_A)} = \{Z_{N_i-1}^{(A)} Z_{N_i-2}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$  в виде последовательности из  $N_i$  двоичных разрядов. Выбор основания  $m_i$  СОК проводится специальным образом в соответствии с определенными критериями.

Исходя из значения остатка  $a_i$  числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$ , выбирается константа нулевизации вида  $KH_{m_i}^{(A)} = (a'_1, a'_2, \dots, a'_{i-1}, a_i, a'_{i+1}, \dots, \dots, a'_n, a'_{n+1})$ . Далее проводится реализация операции  $A_{m_i} = A - KH_{m_i}^{(A)}$ .

С использованием  $N_i$  констант  $K_A \cdot m_i$  ( $K_A = 0, \overline{N_{i-1}}$ ) одновременно проводятся операции вычитания  $A_{m_i} - K_A \cdot m_i$ , в результате чего получаем значение двоичных разрядов  $Z_{K_A}^{(A)}$ , т.е. формируется СК  $K_{N_i}^{(n_A)}$ . Значение ППНК  $n_A$  определяется из равенства  $A_{m_i} - n_A \cdot m_i = 0$ .

Процедура контроля числа  $A$  состоит в следующем. Если  $n_A > N_i$ , то считается, что число  $A$  — неправильное. В противном случае ( $n_A \leq N_i$ ) число  $A$  — правильное.

Рассмотрим примеры реализации метода контроля для конкретной СОК, которая задана основаниями  $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7$  и  $m_k = m_{n+1} = m_5 = 11$ . Такая СОК обеспечивает обработку данных в однобайтовой ( $l = 1$ ) разрядной сетке СПОД. При этом  $M = \prod_{i=1}^4 m_i = 420, M_0 = M \cdot m_{n+1} = 4620$ . Кроме того, будем

считать, что  $m_i = 11$ . В этом случае  $N_i = N_{n+1} = ]M / m_i[ = ]M / m_{n+1}[ = ]420 / 11[ = ]38, 18[ = 39$ .

В табл. 1 приведены данные БКН СПОД относительно основания  $m_k = m_{n+1} = 11$ .

**Таблица 1.** Константы  $KH_{m_{n+1}}^{(A)}$  нулевизации

Значение остатка $a_k = a_{n+1}$ числа $A$	Константы нулевизации относительно $m$ по значению $a'$				
	$m_1 = 3$	$m_2 = 4$	$m_3 = 5$	$m_4 = 7$	$m_k = m_5 = 11$
	$a'_1$	$a'_2$	$a'_3$	$a'_4$	$a'_5$
0000	00	00	000	000	0000
0001	01	01	001	001	0001
0010	10	10	010	010	0010
0011	00	11	011	011	0011
0100	01	00	100	100	0100
0101	10	01	000	101	0101
0110	00	10	001	110	0110
0111	01	11	010	000	0111
1000	10	00	011	001	1000
1001	00	01	100	010	1001
1010	01	10	000	011	1010

**Пример 1.** Провести контроль данных, представленных в виде  $A = (01, 00, 000, 010, 0001)$  при  $m_k = m_{n+1} = m_5 = 11$ . По значению остатка  $a_k = a_{n+1} = a_5 = 0001$  числа  $A$  в БКН (табл. 1) выбирается константа  $KH_{m_{n+1}}^{(A)} = (01, 01, 001, 001, 0001)$  нулевизации. Далее определяем  $A_{m_{n+1}} = A - KH_{m_{n+1}}^{(A)} = (00, 11, 100, 001, 0000)$ .

Посредством реализации соотношения (3) формируем СК вида  $K_{N_i}^{(n_A)} = K_{39}^{(9)} = \{11...110111111111\}$ . Исходя из вида СК и используя выражение  $A_{m_{n+1}} - n_A \cdot m_{n+1} = 0$ , определяем, что  $n_A = 9$  ( $A_{m_{n+1}} - n_A \cdot m_{n+1} = 99 - 9 \cdot 11 = 0$ ), т.е.  $Z_{n_A}^{(A)} = Z_9^{(A)}$ . Имеем  $N_i = 39 > n_A$ ,  $n_A = 9$ . Следовательно, ошибки в данных нет.

Проверка:  $A = 100 < M$ ;  $M = 420$  (число  $A$  правильное).

**Пример 2.** Провести контроль данных  $A = (00, 01, 000, 010, 1010)$ . По значению  $a_5 = 1010$  в БКН (табл. 1) выбирается константа вида  $KH_{m_{n+1}}^{(A)} = (01, 10, 000, 011, 1010)$ . Получим, что  $A_{m_{n+1}} = A - KH_{m_{n+1}}^{(A)} = (10, 00, 000, 110, 0000)$ .

Так как  $A_{m_{n+1}} - n_A \cdot m_{n+1} = 440 - 44 \cdot 11 = 0$ , то СК имеет вид  $K_{N_i}^{(n_A)} = K_{39}^{(40)} = \{11...11...11\}$  и  $n_A = 40$ . Здесь  $N_i = 39 < n_A$ ;  $n_A = 40$ . Следовательно, ошибка в данных присутствует.

Проверка:  $A = 450 > M$ ;  $M = 420$  (число  $A$  неправильное).

**Пример 3.** Провести контроль данных  $A = (01, 11, 010, 000, 1001)$ . По значению  $a_5 = 1001$  в БКН (табл. 1) выбирается константа  $KH_{m_{n+1}}^{(A)} = (00, 01, 100, 010, 1001)$ .

Определим  $A_{m_{n+1}} = A - KH_{m_{n+1}}^{(A)} = (01, 10, 011, 101, 0000)$ . Так как  $A_{m_{n+1}} - n_A \cdot m_{n+1} = 418 - 38 \cdot 11 = 0$ , то СК имеет вид  $K_{N_i}^{(n_A)} = K_{39}^{(38)} = \{011...11...11\}$ ,  $n_A = 38$ . Исходя

из того, что  $n_A = 38 < N_i$ ;  $N_i = 39$ , делается вывод: число  $A$  правильное (не искажено). Однако проверка показывает, что  $A = 427 > M$ ;  $M = 420$ , т.е. число  $A$  неправильное. В этом случае при контроле данных допущена ошибка.

Из примера 3 видно, что применение рассмотренного метода для оперативного контроля данных в СОК не во всех случаях обеспечивает достоверный результат контроля. Действительно, существует совокупность  $(j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1} - M$  неправильных чисел  $\tilde{A}$ , которые определяются системой контроля (СКН) СПОД как правильные, что обуславливает низкую достоверность контроля. Для примера 3 таких чисел может быть более 80 %. В числовом диапазоне  $[418, 429)$  два правильных числа  $A$ : 418 и 419. При этом совокупность неправильных чисел  $\tilde{A}$ , которые определяются СКН СПОД как правильные, составляет 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427 и 428.

Таким образом, очевидно, что разработанный метод оперативного контроля данных в СОК и устройство для его реализации имеют весьма низкую достоверность контроля [3, 5]. Низкая достоверность контроля данных вызвана наличием ненулевого значения остатка  $a$  в выражении

$$a = M_{n+1} / m_{n+1} - [M_{n+1} / m_{n+1}] = M / m_{n+1} - [M / m_{n+1}]. \quad (4)$$

В свою очередь, наличие ненулевого остатка  $a \neq 0$  определяется фактом не кратности значения  $M$  контрольному модулю  $m_{n+1}$  СОК, который определяет величину числового интервала  $[j_{n+1} \cdot m_{n+1}, (j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1})$  возможного нахож-

дения числа  $A$ . В этом случае контроль данных  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  осуществляется на основе использования контрольного основания  $m_{n+1}$  СОК путем формирования СК

$$K_{N_{n+1}}^{(n_A)} = \{Z_{N_{n+1}-1}^{(A)} Z_{N_{n+1}-2}^{(A)} \dots Z_0^{(A)}\}. \quad (5)$$

Геометрически низкую достоверность контроля данных можно объяснить следующим образом. Числовой информационный интервал  $\left[0, M = \prod_{i=1}^n m_i\right)$  не

вмещает целого числа отрезков длиной, равной значению  $m_i = m_{n+1}$ . В этом случае на числовой оси  $0 \div M_0$  существует числовой интервал  $[j_{n+1} \cdot m_{n+1}, (j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1})$  (или  $[(N_{n+1} - 1) \cdot m_{n+1}, N_{n+1} \cdot m_{n+1})$ ), внутри которого находится число  $M$ . Поэтому в данном интервале одновременно находится совокупность  $((j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1}) - M$  (или  $N_{n+1} \cdot m_{n+1} - M$ ) неправильных чисел и совокупность  $M - j_{n+1} \cdot m_{n+1}$  (или  $M - (N_{n+1} - 1) \cdot m_{n+1}$ ) правильных чисел. В процессе контроля данных  $A$  при проведении процедуры нулевизации все числа — как неправильные  $((j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1}) - M$ , так и правильные  $M - j_{n+1} \cdot m_{n+1}$ , смещаются на левый край (к одному правильному числу  $j_{n+1} \cdot m_{n+1}$ ) интервала  $[j_{n+1} \cdot m_{n+1}, (j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1})$ . В этом случае неправильные  $[(N_{n+1} \cdot m_{n+1}) - M]$  числа будут идентифицироваться (определяться) СКН СПОД как правильные.

Под достоверностью контроля данных в классе вычетов будем понимать вероятность получения истинного результата операции контроля данных, представленных в СОК. В качестве показателя для количественной оценки достоверности контроля данных в СОК можно воспользоваться соотношением

$$P_{\text{дк}} = V_{\text{пс}} / V_{\text{ос}}, \quad (6)$$

где в общем случае  $V_{\text{пс}} = M$  — количество (от 0 до  $M - 1$ ) правильных ( $A < M$ ) лежащих в рабочем числовом диапазоне  $[0, M_0)$  кодовых слов для данной СОК;  $V_{\text{ос}} = (V_{\text{пс}} + V_{\text{нс}})$  — общее количество кодовых слов, которые в результате проведения контроля данных считаются правильными;  $V_{\text{нс}} = (N_i \cdot m_i - M)$  — количество неправильных кодовых слов ( $A \geq M$ ), которые в результате проведения контроля данных считаются правильными (отметим, что  $N_i = ]M / m_i[ = j_i + 1$ ).

С учетом изложенного показатель достоверности контроля (6) определяется соотношением

$$P_{\text{дк}} = \frac{M}{M + N_i \cdot m_i - M} = \frac{M}{N_i \cdot m_i}. \quad (7)$$

При равенстве  $m_i = m_{n+1}$  имеем  $V_{\text{нс}} = (N_{n+1} \cdot m_{n+1} - M)$ . В этом случае выражение (7) примет вид

$$P_{\text{дк}} = \frac{M}{M + N_{n+1} \cdot m_{n+1} - M} = \frac{M}{N_{n+1} \cdot m_{n+1}}. \quad (8)$$

Так как известно, что  $N_{n+1} \cdot m_{n+1} > M$  (см. (4)), то всегда  $P_{\text{дк}} < 1$ .

Если в качестве основания  $m_i$ , определяющего величины числовых интервалов  $j_i \cdot m_i \div (j_i + 1) \cdot m_i$ , возьмем информационное основание СОК, например  $m_i = m_1$ , тогда  $N_i = ]M / m_i[ = N_1 = ]M / m_1[$  и  $N_1 = \prod_{i=2}^n m_i$ . В этом случае

выражение (7) примет вид

$$P_{\text{дк}} = \frac{M}{M + N_1 \cdot m_1 - M} = \frac{M}{N_1 \cdot m_1} = 1. \quad (9)$$

В этом случае (см. (4)) всегда имеем  $P_{\text{дк}} = 1$ , т.е. при выборе  $m_i = m_1$  СКН СПОД всегда обеспечивает достоверный результат контроля данных в СОК.

Предлагаемый метод повышения достоверности контроля основан на известном методе оперативного контроля информации в СОК, который, в свою очередь, включает процедуры получения и использования ППНК [4]. Данный признак является одной из характеристик СК, который формируется из исходной НКС  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$  данных, представленной в СОК основаниями  $\{m_i\}$ ,  $i = 1, n+1$ , с одним контрольным основанием  $m_{n+1}$ .

Суть предлагаемого метода повышения достоверности контроля данных в СОК состоит в обеспечении максимальной достоверности контроля данных  $P_{\text{дк}} = 1$  путем обеспечения выполнения условия  $a = 0$  (см. (4)). В этом случае для вычисления значения  $N_i = \lfloor M / m_i \rfloor$  выбирается модуль  $m_i$ , определяющий номер  $j_i$  числового интервала  $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$  нахождения числа  $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$ , только из совокупности  $n$  информационных модулей СОК, которые, естественно, кратны значению  $M$ . В этом случае  $a = M - \lfloor M / m_i \rfloor \cdot m_i = 0$ , что и обеспечивает максимальное значение показателя достоверности контроля  $P_{\text{дк}} = 1$  (см. (7)).

Рассмотрим пример применения разработанного метода для повышения достоверности контроля данных в СОК.

**Пример 4.** Из рассмотренной СОК выбираем, например, информационное основание  $m_i = m_1 = 3$ . При этом  $N_i = N_1 = M / m_1 = 4 \cdot 5 \cdot 7 = 140$ . В этом случае рабочий числовой диапазон  $[0, M_0)$  СОК разбивается на интервалы  $[j_1 \cdot m_1, (j_1 + 1) \cdot m_1)$ . Для значения  $m_1 = 3$  информационный числовой интервал  $[0, M)$  разбивается точно на  $N_1 = M / m_1 = 140$  отрезков длиной 111 каждый. Из табл. 1 выбираем содержимое БКН относительно основания  $m_1 = 3$ . Необходимо провести контроль числа  $A = (01, 11, 010, 000, 1001)$ . По значению  $a_1 = 01$  в БКН выбираем константу нулевизации вида  $KH_{m_1}^{(A)} = (01, 01, 001, 001, 0001)$ .

Далее определяем  $A_{m_1} = A - KH_{m_1}^{(A)} = (00, 10, 001, 110, 1000)$ . Если  $A_{m_1} - n_A \cdot m_1 = 426 - 142 \cdot 3 = 0$ , то СК имеет вид  $K_{N_i}^{(n_A)} = K_{140}^{(142)} = \{Z_{139}^{(A)} Z_{138}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\} = \{11 \dots 11 \dots 11\}$ . Так как  $N_i = 140 < n_A$ ,  $n_A = 142$ , то в числе  $A$  имеется ошибка.

Проверка:  $A = 427 > M$ ,  $M = 420$ . Число  $A > M$ , т.е. оно неправильное (искажено).

**Таблица 2.** Результаты расчета значений достоверности контроля данных

Значения контрольных оснований $m_{n+1}$	Результаты расчета значений достоверности контроля в СОК для параметров				
	$M$	$M / m_{n+1}$	$\lfloor M / m_{n+1} \rfloor$	$N_{n+1} = \lfloor M / m_{n+1} \rfloor \cdot m_{n+1}$	$P_{\text{дк}}$
11	420	38,2	39	429	0,979
13	420	32,3	33	429	0,979
17	420	24,7	25	425	0,988
19	420	22,1	23	437	0,961
23	420	18,2	19	437	0,961
29	420	14,4	15	435	0,965

В качестве примера в табл. 2 приведены результаты расчета достоверности  $P_{\text{дк}}$  контроля данных для шести различных значений (11, 13, 17, 19, 23 и 29) контрольных оснований  $m_{n+1}$  в СОК, которая задана информационными основаниями  $m_1 = 3$ ,  $m_2 = 4$ ,  $m_3 = 5$  и  $m_4 = 7$ .

Кроме оперативности контроля данных важной характеристикой СПОД является количество оборудования системы контроля. Отметим, что в СОК количество оборудования СКН в основном зависит от количества сумматоров, реализующих операции вида (3). Таким образом, количество оборудования СКН зависит от величины значения  $N_i = \prod_{\substack{K=1; \\ K \neq i}}^{n+1} m_K$  ( $i = \overline{1, n}$ ). В этом случае с учетом  $a = 0$

и требования исключения снижения оперативности контроля для минимизации количества оборудования СКН в СОК необходимо выбрать максимальный по величине информационный модуль. Для упорядоченной СОК ( $m_i < m_{i+1}$ ) таким будет основание  $m_n$ .

Предварительная оценка количества оборудования для  $l$ -байтовой разрядной сетки представления машинного слова СПОД может быть проведена посредством значения коэффициента эффективности:

$$K_{\text{эф}}^{(l)} = \frac{N_1}{N_n} = \frac{M / m_1}{M / m_n} = \frac{m_n}{m_1}.$$

Приведем пример контроля данных в СОК для значения  $m_i = m_n$ .

**Пример 5.** Максимальным информационным основанием для вышеприведенной СОК является  $m_n = m_4 = 7$ . При этом  $N_i = N_4 = M / m_4 = 3 \cdot 4 \cdot 5 = 60$ . Рабочий числовой диапазон  $[0, M_0)$  разбивается на интервалы  $[j_4 \cdot m_4, (j_4 + 1) \cdot m_4)$ , т.е. на  $M_0 / m_4 = 4620 / 7 = 660$  отрезков. Для значения  $m_4 = 7$  информационный интервал  $[0, M)$  разбивается на  $N_4 = M / m_4 = 60$  числовых отрезков длиной семь единиц. Из табл. 1 определяется содержимое БКН относительно основания  $m_4 = 7$ .

Пусть необходимо провести контроль числа  $A = (01, 11, 010, 000, 1001)$ . По значению  $a_4 = 000$  в БКН (см. табл. 1) выбираем константу  $KH_{m_n}^{(A)} = KH_7^{(A)} = (00, 00, 000, 000, 0000)$ . Далее определяем значение  $A_{m_n} = A_7 = A - KH_7^{(A)} = (01, 11, 010, 000, 1001)$ .

Посредством реализации соотношений (2) формируем СК вида  $K_{N_4}^{(n_A)} = K_{60}^{(61)} = \{Z_{59}^{(A)} Z_{58}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\} = \{11\dots 11\dots 11\}$ . Исходя из вида СК с использованием выражения  $A_{m_n} - n_A \cdot m_n = 0$ , определяем  $n_A = 61$  ( $A_{m_n} - n_A \cdot m_n = 427 - 61 \cdot 7 = 0$ ). Так как  $N_4 = 60 < n_A$ ,  $n_A = 61$ , то ошибка в данных  $A$  присутствует.

Проверка:  $A = 427 > M$ ;  $M = 420$ .

В табл. 3 приведены расчетные данные условного количества оборудования системы контроля СПОД, функционирующей в СОК, и данные сравнительного анализа сокращения количества оборудования СКН для  $m_i = m_n$ .

Таким образом, в статье разработан метод повышения достоверности контроля данных, представленных в СОК. Данный метод основан на использовании ППНК  $n_A$ , который является одной из характеристик СК. При этом выбирается модуль  $m_i$ , определяющий номер числового интервала нахождения НКС, из совокупности  $n$  возможных информационных оснований СОК. Применение данного метода обеспечивает получение достоверного результата контроля данных в СОК.



**Таблица 3.** Сравнительные данные количества оборудования системы контроля СПОД

Разрядная сетка $l$ -байтовой СПОД $(\rho, n, k)$	Информационные основания СОК $m_i$ $(i = 1, n)$	Контрольное основание $m_{n+1}$ СОК	Информационное основание СОК		$K_{эф}^{(l)}$
			минимальное, $m_1$	максимальное, $m_n$	
$l = 1$ $(\rho = 8, n = 4, k = 3)$	$m_1 = 3, m_2 = 4,$ $m_3 = 5, m_4 = 7$	$m_5 = 11$	$m_1 = 3$	$m_4 = 7$	2,3
$l = 2$ $(\rho = 16, n = 6, k = 4)$	$m_1 = 2, m_2 = 5,$ $m_3 = 7, m_4 = 9,$ $m_5 = 11, m_6 = 13$	$m_7 = 17$	$m_1 = 2$	$m_6 = 13$	6,5
$l = 3$ $(\rho = 24, n = 8, k = 5)$	$m_1 = 3, m_2 = 4,$ $m_3 = 5, m_4 = 7,$ $m_5 = 11, m_6 = 13,$ $m_7 = 17, m_8 = 19$	$m_9 = 23$	$m_1 = 3$	$m_8 = 19$	6,3
$l = 4$ $(\rho = 32, n = 10, k = 5)$	$m_1 = 2, m_2 = 3,$ $m_3 = 5, m_4 = 7,$ $m_5 = 11, m_6 = 13,$ $m_7 = 17, m_8 = 19,$ $m_9 = 23, m_{10} = 29$	$m_{11} = 31$	$m_1 = 2$	$m_{10} = 29$	14,5
$l = 8$ $(\rho = 64, n = 16, k = 6)$	$m_1 = 3, m_2 = 4,$ $m_3 = 5, m_4 = 7,$ $m_5 = 11, m_6 = 13,$ $m_7 = 17, m_8 = 19,$ $m_9 = 23, m_{10} = 29,$ $m_{11} = 31, m_{12} = 37,$ $m_{13} = 41, m_{14} = 43,$ $m_{15} = 47, m_{16} = 53$	$m_{17} = 59$	$m_1 = 3$	$m_{16} = 53$	17,6

Расчетные данные и сравнительный анализ достоверности их контроля и количества оборудования системы контроля показал, что с ростом разрядной сетки в СПОД эффективность непозиционного кодирования данных в СОК существенно возрастает.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. — М.: Сов. радио, 1968. — 440 с.
2. Мороз С.А., Краснобаев В.А. Метод контроля информации в непозиционной системе счисления класса вычетов // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2011. — Вип. 2 (18). — С. 134–138.
3. Мороз С.А., Краснобаев В.А., Замула А.А. Метод оперативного контроля данных в классе вычетов на основе использования позиционного признака непозиционного кода // Приклад радиоелектроніка. — 2012. — **11**, № 2. — С. 281–287.
4. Мороз С.А., Краснобаев В.А. Методы контроля, диагностики и коррекции ошибок данных в информационно-телекоммуникационной системе, функционирующей в классе вычетов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2012. — № 2. — С. 60–78.
5. ДП на корисну модель № 73375 України, МПК (2006.01) G 06F 11/08. Краснобаев В.А., Жадан В.О., Мороз С.О., Тиртишников О.І., Одарущенко О.М., Горбенко Р.А. Пристрій для контролю помилок даних у інформаційно-телекомунікаційній системі, що функціонує у класі лишків. № у 2012 01854. Заявл. 20.02.2012. Опубл. 25.09.2012, Бюл. № 18.

Поступила 13.12.2012  
После доработки 02.06.2014