УДК 681.142

В. А. КРАСНОБАЕВ[1], С. А. КОШМАН[2], А. С. ЯНКО[3]

[1] ***Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, Украина***
[2] ***Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, Украина***
[3] ***Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Украина***

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРИНЦИПЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ НУЛЕВИЗАЦИИ

В статье рассмотрен метод оперативного контроля данных в системе остаточных классов (СОК), основанный на принципе последовательной нулевизации. Данный метод реализуется путем применения процедуры последовательной нулевизации с определением последующего остатка непозиционной кодовой структуры. Суть метода состоит в том, что пока производится выборка константы нулевизации $\mathrm{KH}^{(i)}$ *для числа* $A^{(i)}$ *по значению остатка* $a_{i+1}^{(i)}$ *по основанию* m_{i+1}*, в вычислительном тракте компьютерной системы в СОК, функционирующем по основанию* m_{i+2}*, может быть сформировано значение остатка* $a_{i+2}^{(i+1)}$*, по которому на следующем этапе нулевизации будет производиться выборка очередной константы нулевизации* $\mathrm{KH}^{(i+1)}$*. В статье представлены данные расчета и сравнительного анализа времени контроля данных в СОК.*

Ключевые слова: *система остаточных классов (СОК), метод контроля в СОК, принцип последовательной нулевизации, вычислительный тракт компьютерной системы в СОК, непозиционная кодовая структура.*

Введение

В компьютерной системе (КС), функционирующей в системе остаточных классов (СОК), часто возникает необходимость проведения так называемой процедуры нулевизации. Такая необходимость возникает в случаях реализации непозиционных (немодульных) операций в СОК. В первую очередь это относится к операции контроля данных [1-3]. Рассмотрим произвольную СОК, которая задается совокупностью информационных упорядоченных ($m_{i-1}<m_i$; $i=\overline{1,n}$) оснований (модулей) m_1, $m_2,\ldots,m_i,\ldots,m_n$. Основания СОК – это натуральные, взаимно попарно простые числа (наибольший общий делитель любой пары оснований m_i и m_j равняется единице, т.е. НОД $(m_i, m_j=1)$; $i\neq j$). Числовой диапазон $[0, M=\prod_{i=1}^{n} m_i)$, представимых в СОК чисел, будем называть рабочим числовым диапазоном. С целью организации процесса контроля необходимо ввести дополнительную информационную избыточность. Это достигается путем введения в систему оснований СОК одного дополнительного контрольного основания $m_{n+1}>m_i$, взаимно простого с информационными основаниями m_i $(i=\overline{1,n})$. Числовой диапазон $[0, M\cdot m_{n+1}=M_0)$ будем называть полным диапазоном СОК. Суть процедуры последовательной нулевизации чисел в СОК заключается в переходе от исходного (контролируемого) числа $A=(a_1,a_2,...,a_n,a_{n+1})$ (непозиционной кодовой структуры (НКС)) к числу вида $A^{(H)}=(0,0,...,0,\gamma_{n+1})$ при помощи такой последовательности преобразований, при которой не имеет места ни один выход промежуточного числа за рабочий числовой диапазон. Процедура нулевизации осуществляется за счет вычитания из исходной контролируемой НКС $A=(a_1,a_2,...,a_n,a_{n+1})$ некоторых минимальных чисел $\mathrm{KH}^{(i)}$ – констант нулевизации (КН), таких, что число А преобразуется в число вида $A^{(H)}=(0,0,...,0,\gamma_{n+1})$. Если, например, процедура нулевизации используется для контроля ошибок данных в СОК, то полученное численное значение остатка γ_{n+1} можно использовать для определения ошибочности (или нет) исходного числа

$A=(a_1,a_2,...,a_n,a_{n+1})$. Так, если $\gamma_{n+1}\neq 0$, то считается что, число $A=(a_1,a_2,...,a_n,a_{n+1})$ ошибочно. При этом константы нулевизации $КН^{(i)}$ должны быть выбраны таким образом, чтобы при реализации операции вычитании вида $A^{(i)}-КН^{(i)}$ не имело бы место выхода ее результата из рабочего числового [0, M) диапазона СОК.

Постановка задачи

Как известно, что основным преимуществом использования СОК, в сравнении с позиционными системами счисления (ПСС), является возможность организации в КС процесса быстрой реализации целочисленных арифметических операций сложения, вычитания и умножения [4-6]. Однако в процессе решения конкретной вычислительной задачи возникает необходимость реализации контроля результата операций, т.е. возникает необходимость использования процедуры нулевизации НКС. Применение процедуры нулевизации, которая составляет до 90% времени контроля данных в СОК, требует значительных временных затрат, что лишает СОК ее основного преимущества [7]. Таким образом, актуальной и важной научно-технической задачей является задача уменьшения времени контроля данных в СОК, т.е. задача разработки метода оперативного контроля данных в СОК. В этом аспекте актуальным и важным является исследование и разработка процедуры быстрой нулевизации чисел.

Основная часть

Рассмотрим процедуру нулевизации с точки зрения времени ее реализации. Сущность первой (Н1), базовой в теории СОК, процедуры нулевизации (процедура последовательной нулевизации (ПН)) состоит из последовательности операций вычитания вида

$$A^{(i+1)}=A^{(i)}-КН^{(i)}, \qquad (1)$$

посредством совокупности КН вида (2)

$$КН^{(0)}=[t_1^{(0)}\,\|\,t_2^{(0)}\,\|\,t_3^{(0)}\,\|\ldots\|\,t_{i-1}^{(0)}\,\|\,t_i^{(0)}\,\|\,t_{i+1}^{(0)}\,\|\ldots\|\,t_{n-3}^{(0)}\,\|$$
$$\|\,t_{n-2}^{(0)}\,\|\,t_{n-1}^{(0)}\,\|\,t_n^{(0)}\,\|\,t_{n+1}^{(0)}],\ t_1^{(0)}=a_1^{(0)},\ t_1^{(0)}=\overline{0,m_1-1};$$
$$КН^{(1)}=[0\,\|\,t_2^{(1)}\,\|\,t_3^{(1)}\,\|\ldots\|\,t_{i-1}^{(1)}\,\|\,t_i^{(1)}\,\|\,t_{i+1}^{(1)}\,\|\ldots\|\,t_{n-3}^{(1)}\,\|$$
$$\|\,t_{n-2}^{(1)}\,\|\,t_{n-1}^{(1)}\,\|\,t_n^{(1)}\,\|\,t_{n+1}^{(1)}],\ t_2^{(1)}=a_2^{(1)},\ t_2^{(1)}=\overline{0,m_2-1};$$
$$КН^{(2)}=[0\,\|\,0\,\|\,t_3^{(2)}\,\|\ldots\|\,t_{i-1}^{(2)}\,\|\,t_i^{(2)}\,\|\,t_{i+1}^{(2)}\,\|\ldots\|\,t_{n-3}^{(2)}\,\|$$
$$\|\,t_{n-2}^{(2)}\,\|\,t_{n-1}^{(2)}\,\|\,t_n^{(2)}\,\|\,t_{n+1}^{(2)}],\ t_3^{(2)}=a_3^{(2)},\ t_3^{(2)}=\overline{0,m_3-1};$$
$$КН^{(i-1)}=[0\,\|\,0\,\|\,0\,\|\ldots\|\,0\,\|\,t_i^{(i-1)}\,\|\,t_{i+1}^{(i-1)}\,\|\ldots\|\,t_{n-3}^{(i-1)}\,\|$$
$$\|\,t_{n-2}^{(i-1)}\,\|\,t_{n-1}^{(i-1)}\,\|\,t_n^{(i-1)}\,\|\,t_{n+1}^{(i-1)}],$$
$$t_i^{(i-1)}=a_i^{(i-1)},\ t_i^{(i-1)}=\overline{0,m_i-1};$$
$$КН^{(n-2)}=[0\,\|\,0\,\|\,0\,\|\ldots\|\,0\,\|\,0\,\|\,0\,\|\ldots\|\,0\,\|\,0\,\|\,t_{n-1}^{(n-2)}\,\|$$
$$\|\,t_n^{(n-2)}\,\|\,t_{n+1}^{(n-2)}],\ t_{n-1}^{(n-2)}=a_{n-1}^{(n-2)},\ t_{n-1}^{(n-2)}=\overline{0,m_{n-1}-1};$$
$$КН^{(n-1)}=[0\,\|\,0\,\|\,0\,\|\ldots\|\,0\,\|\,0\,\|\,0\,\|\ldots\|\,0\,\|\,0\,\|\,0\,\|\,t_n^{(n-1)}\,\|$$
$$\|\,t_{n+1}^{(n-1)}],\ t_n^{(n-1)}=a_n^{(n-1)},\ t_n^{(n-1)}=\overline{0,m_n-1}, \qquad (2)$$

из соответствующих чисел

$$A^{(0)}=[a_1^{(0)}\,\|\,a_2^{(0)}\,\|\,a_3^{(0)}\,\|\ldots\|\,a_{i-1}^{(0)}\,\|\,a_i^{(0)}\,\|\,a_{i+1}^{(0)}\,\|\ldots$$
$$\ldots\|\,a_{n-3}^{(0)}\,\|\,a_{n-2}^{(0)}\,\|\,a_{n-1}^{(0)}\,\|\,a_n^{(0)}\,\|\,a_{n+1}^{(0)}],$$
$$A^{(1)}=[0\,\|\,a_2^{(1)}\,\|\,a_3^{(1)}\,\|\ldots\|\,a_{i-1}^{(1)}\,\|\,a_i^{(1)}\,\|\,a_{i+1}^{(1)}\,\|\ldots\|\,a_{n-3}^{(1)}\,\|$$
$$\|\,a_{n-2}^{(1)}\,\|\,a_{n-1}^{(1)}\,\|\,a_n^{(1)}\,\|\,a_{n+1}^{(1)}],$$
$$A^{(2)}=[0\,\|\,0\,\|\,a_3^{(2)}\,\|\ldots\|\,a_{i-1}^{(2)}\,\|\,a_i^{(2)}\,\|\,a_{i+1}^{(2)}\,\|\ldots\|\,a_{n-3}^{(2)}\,\|$$
$$\|\,a_{n-2}^{(2)}\,\|\,a_{n-1}^{(2)}\,\|\,a_n^{(2)}\,\|\,a_{n+1}^{(2)}],$$
$$A^{(i-1)}=[0\,\|\,0\,\|\,0\,\|\ldots\|\,0\,\|\,a_i^{(i-1)}\,\|\,a_{i+1}^{(i-1)}\,\|\ldots\|\,a_{n-3}^{(i-1)}\,\|$$
$$\|\,a_{n-2}^{(i-1)}\,\|\,a_{n-1}^{(i-1)}\,\|\,a_n^{(i-1)}\,\|\,a_{n+1}^{(i-1)}]\ \text{и т.д.}$$

Например: выполнение первой операции вычитания

$$A^{(1)}=A^{(0)}-КН^{(0)}=[a_1^{(0)}\,\|\,a_2^{(0)}\,\|\,a_3^{(0)}\,\|\ldots$$
$$\ldots\|\,a_{i-1}^{(0)}\,\|\,a_i^{(0)}\,\|\,a_{i+1}^{(0)}\,\|\ldots\|\,a_{n-3}^{(0)}\,\|\,a_{n-2}^{(0)}\,\|\,a_{n-1}^{(0)}\,\|\,a_n^{(0)}\,\|$$
$$\|\,a_{n+1}^{(0)}]-[t_1^{(0)}\,\|\,t_2^{(0)}\,\|\,t_3^{(0)}\,\|\ldots\|\,t_{i-1}^{(0)}\,\|\,t_i^{(0)}\,\|\,t_{i+1}^{(0)}\,\|\ldots\|\,t_{n-3}^{(0)}\,\|$$
$$\|\,t_{n-2}^{(0)}\,\|\,t_{n-1}^{(0)}\,\|\,t_n^{(0)}\,\|\,t_{n+1}^{(0)}]=\Big\{[a_1^{(0)}-t_1^{(0)}]\bmod m_1\,\|$$
$$\|\,[a_2^{(0)}-t_2^{(0)}]\bmod m_2\,\|\,[a_3^{(0)}-t_3^{(0)}]\bmod m_3\,\|\ldots$$
$$\ldots\|\,[a_{i-1}^{(0)}-t_{i-1}^{(0)}]\bmod m_{i-1}\,\|\,[a_i^{(0)}-t_i^{(0)}]\bmod m_i\,\|$$
$$\|\,[a_{i+1}^{(0)}-t_{i+1}^{(0)}]\bmod m_{i+1}\,\|\ldots\|\,[a_{n-3}^{(0)}-t_{n-3}^{(0)}]\bmod m_{n-3}\,\|$$
$$\|\,[a_{n-2}^{(0)}-t_{n-2}^{(0)}]\bmod m_{n-2}\,\|\,[a_{n-1}^{(0)}-t_{n-1}^{(0)}]\bmod m_{n-1}\,\|\ldots$$
$$\ldots\|\,[a_n^{(0)}-t_n^{(0)}]\bmod m_n\,\|\,[a_{n+1}^{(0)}-t_{n+1}^{(0)}]\bmod m_{n+1}\Big\}=$$
$$=[0\,\|\,a_2^{(1)}\,\|\,a_3^{(1)}\,\|\ldots\|\,a_{i-1}^{(1)}\,\|\,a_i^{(1)}\,\|\,a_{i+1}^{(1)}\,\|\ldots\|\,a_{n-3}^{(1)}\,\|$$
$$\|\,a_{n-2}^{(1)}\,\|\,a_{n-1}^{(1)}\,\|\,a_n^{(1)}\,\|\,a_{n+1}^{(1)}];$$

выполнение второй операции вычитания

$$A^{(2)}=A^{(1)}-КН^{(1)}=[0\,\|\,a_2^{(1)}\,\|\,a_3^{(1)}\,\|\ldots\|\,a_{i-1}^{(1)}\,\|\,a_i^{(1)}\,\|$$
$$\|\,a_{i+1}^{(1)}\,\|\ldots\|\,a_{n-3}^{(1)}\,\|\,a_{n-2}^{(1)}\,\|\,a_{n-1}^{(1)}\,\|\,a_n^{(1)}\,\|\,a_{n+1}^{(1)}]-[0\,\|\,t_2^{(1)}\,\|$$

$$\| t_3^{(1)} \| \ldots \| t_{i-1}^{(1)} \| t_i^{(1)} \| t_{i+1}^{(1)} \| \ldots \| t_{n-3}^{(1)} \| t_{n-2}^{(1)} \| t_{n-1}^{(1)} \| t_n^{(1)} \|$$

$$\| t_{n+1}^{(1)}] = \{0 \| [a_2^{(1)} - t_2^{(1)}] \bmod m_2 \| [a_3^{(1)} -$$

$$-t_3^{(1)}] \bmod m_3 \| \ldots \| [a_{i-1}^{(1)} - t_{i-1}^{(1)}] \bmod m_{i-1} \| [a_i^{(1)} -$$

$$-t_i^{(1)}] \bmod m_i \| [a_{i+1}^{(1)} - t_{i+1}^{(1)}] \bmod m_{i+1} \| \ldots \| [a_{n-3}^{(1)} -$$

$$-t_{n-3}^{(1)}] \bmod m_{n-3} \| [a_{n-2}^{(1)} - t_{n-2}^{(1)}] \bmod m_{n-2} \| [a_{n-1}^{(1)} -$$

$$-t_{n-1}^{(1)}] \bmod m_{n-1} \| [a_n^{(1)} - t_n^{(1)}] \bmod m_n \| [a_{n+1}^{(1)} -$$

$$-t_{n+1}^{(1)}] \bmod m_{n+1} \} = [0 \| 0 \| a_3^{(2)} \| \ldots \| a_{i-1}^{(2)} \| a_i^{(2)} \|$$

$$\| a_{i+1}^{(2)} \| \ldots \| a_{n-3}^{(2)} \| a_{n-2}^{(2)} \| a_{n-1}^{(2)} \| a_n^{(2)} \| a_{n+1}^{(2)}];$$

выполнение третьей операции вычитания

$$A^{(3)} = A^{(2)} - KH^{(2)} = [0 \| 0 \| a_3^{(2)} \| \ldots \| a_{i-1}^{(2)} \| a_i^{(2)} \|$$

$$\| a_{i+1}^{(2)} \| \ldots \| a_{n-3}^{(2)} \| a_{n-2}^{(2)} \| a_{n-1}^{(2)} \| a_n^{(2)} \| a_{n+1}^{(2)}] - [0 \| 0 \|$$

$$\| t_3^{(2)} \| \ldots \| t_{i-1}^{(2)} \| t_i^{(2)} \| t_{i+1}^{(2)} \| \ldots \| t_{n-3}^{(2)} \| t_{n-2}^{(2)} \| t_{n-1}^{(2)} \| t_n^{(2)} \|$$

$$\| t_{n+1}^{(2)}] = \{0 \| 0 \| [a_3^{(2)} - t_3^{(2)}] \bmod m_3 \| \ldots \| [a_{i-1}^{(2)} -$$

$$-t_{i-1}^{(2)}] \bmod m_{i-1} \| [a_i^{(2)} - t_i^{(2)}] \bmod m_i \| [a_{i+1}^{(2)} -$$

$$-t_{i+1}^{(2)}] \bmod m_{i+1} \| \ldots \| [a_{n-3}^{(2)} - t_{n-3}^{(2)}] \bmod m_{n-3} \| [a_{n-2}^{(2)} -$$

$$-t_{n-2}^{(2)}] \bmod m_{n-2} \| [a_{n-1}^{(2)} - t_{n-1}^{(2)}] \bmod m_{n-1} \| [a_n^{(2)} -$$

$$-t_n^{(2)}] \bmod m_n \| [a_{n+1}^{(2)} - t_{n+1}^{(2)}] \bmod m_{n+1} \} = [0 \| 0 \| 0 \|$$

$$\| a_4^{(3)} \| a_5^{(3)} \| \ldots \| a_{i-1}^{(3)} \| a_i^{(3)} \| a_{i+1}^{(3)} \| \ldots \| a_{n-3}^{(3)} \| a_{n-2}^{(3)} \|$$

$$\| a_{n-1}^{(3)} \| a_n^{(3)} \| a_{n+1}^{(3)}]$$

и т.д. Алгоритм выполнения процедуры ПН представлен в табл. 1. В соответствии с этим алгоритмом исходное число $A = A^{(0)} = (a_1^{(0)}, a_2^{(0)}, \ldots, a_i^{(0)}, a_{i+1}^{(0)}, \ldots$ $\ldots, a_n^{(0)}, a_{n+1}^{(0)})$ по формуле (1) последовательно приводится к виду $A^{(H)} = (0, 0, \ldots, 0, \gamma_{n+1})$ с помощью такой последовательности операций вычитаний, которая не приведет к выходу числового значения числа $A^{(0)}$ за рабочий диапазон [0, M) СОК. В этом случае исходное число $A = A^{(0)} = (a_1^{(0)}, a_2^{(0)}, \ldots, a_i^{(0)}$, $a_{i+1}^{(0)}, \ldots, a_n^{(0)}, a_{n+1}^{(0)})$ последовательно приводится к виду $A^{(H)}$, т.е.

$$A = A^{(0)} = (a_1^{(0)}, a_2^{(0)}, \ldots, a_i^{(0)}, a_{i+1}^{(0)}, \ldots, a_n^{(0)}, a_{n+1}^{(0)})$$

$$A^{(1)} = (0,\ a_2^{(1)}, a_3^{(1)}, \ldots, a_n^{(1)}, a_{n+1}^{(1)}),$$

$$A^{(2)} = (0,\ 0,\ a_3^{(2)}, \ldots, a_n^{(2)}, a_{n+1}^{(2)}),$$

$$A^{(3)} = (0,\ 0,\ 0,\ a_4^{(3)}, \ldots, a_n^{(3)}, a_{n+1}^{(3)})$$

и так далее.

Таблица 1

Алгоритм ПН

№ операции	Содержание операции
1	Обращение по значению $a_1^{(0)}$ и числа $A^{(0)}$ в БКН$_0$ за КН$^{(0)}$.
2	Выполнение операции вычитания $A^{(1)} = A^{(0)} - KH^{(0)}$.
3	Обращение по значению $a_2^{(1)}$ и числа $A^{(1)}$ в БКН$_1$ за КН$^{(1)}$.
4	Выполнение операции вычитания $A^{(2)} = A^{(1)} - KH^{(1)}$.
5	Обращение по значению $a_3^{(2)}$ и числа $A^{(2)}$ в БКН$_2$ за КН$^{(2)}$.
6	Выполнение операции вычитания $A^{(3)} = A^{(2)} - KH^{(2)}$.
7	Обращение по значению $a_4^{(3)}$ и числа $A^{(3)}$ в БКН$_3$ за КН$^{(3)}$.
8	Выполнение операции вычитания $A^{(4)} = A^{(3)} - KH^{(3)}$.
⋮	…
$2n-3$	Обращение по значению $a_{n-1}^{(n-2)}$ и числа $A^{(n-2)}$ в БКН$_{n-2}$ за КН$^{(n-2)}$.
$2n-2$	Выполнение операции вычитания $A^{(n-1)} = A^{(n-2)} - KH^{(n-2)}$.
$2n-1$	Обращение по значению $a_n^{(n-1)}$ и числа $A^{(n-1)}$ в БКН$_{n-1}$ за КН$^{(n-1)}$.
$2n$	Выполнение операции вычитания $A^{(n)} = A^{(n-1)} - KH^{(n-1)}$. Получение нулевизированного числа $A^{(H)} = A^{(n)} = [0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| \gamma_{n+1} = a_{n+1}^{(n)}]$.

Продолжая вычитания n раз, получим значение $A^{(H)} = (0, 0, \ldots, 0, a_{n+1}^{(n)})$, или $A^{(H)} = (0, 0, \ldots, 0, \gamma_{n+1})$, где $\gamma_{n+1} = a_{n+1}^{(n)}$. Процедура ПН представлена на рис. 1. Обозначив время выборки КН из соответствующего блока нулевизации (БН) КС, функционирующей в СОК, как t_1, а время вычитания из числа $A^{(i-1)}$ константы $KH^{(i-1)}$, т.е. выполнения операции $A^{(i)} = A^{(i-1)} - KH^{(i-1)}$ - как t_2, получим общее время T_{H1} выполнения процедуры нулевизации для первого Н1 метода

$$T_{H1} = n\,(t_1 + t_2). \quad (3)$$

№ операции (такта)	Содержание операции
1	Обращение по значению остатка $a_1^{(0)}$ числа $A = A^{(0)} = [a_1^{(0)} \parallel a_2^{(0)} \parallel a_3^{(0)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(0)} \parallel a_i^{(0)} \parallel a_{i+1}^{(0)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(0)} \parallel a_{n-2}^{(0)} \parallel a_{n-1}^{(0)} \parallel a_n^{(0)} \parallel a_{n+1}^{(0)}]$ в БКН_0 за константой нулевизации $\text{КН}^{(0)} = [t_1^{(0)} \parallel t_2^{(0)} \parallel t_3^{(0)} \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(0)} \parallel t_i^{(0)} \parallel t_{i+1}^{(0)} \parallel \ldots \parallel t_{n-3}^{(0)} \parallel t_{n-2}^{(0)} \parallel t_{n-1}^{(0)} \parallel t_n^{(0)} \parallel t_{n+1}^{(0)}]$; $t_1^{(0)} = a_1^{(0)}$; $t_1^{(0)} = \overline{0, m_1 - 1}$.
2	Выполнение операции вычитания $A^{(1)} = A^{(0)} - \text{КН}^{(0)} = [a_1^{(0)} \parallel a_2^{(0)} \parallel a_3^{(0)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(0)} \parallel a_i^{(0)} \parallel a_{i+1}^{(0)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(0)} \parallel a_{n-2}^{(0)} \parallel a_{n-1}^{(0)} \parallel a_n^{(0)} \parallel a_{n+1}^{(0)}] - [t_1^{(0)} \parallel t_2^{(0)} \parallel t_3^{(0)} \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(0)} \parallel t_i^{(0)} \parallel t_{i+1}^{(0)} \parallel \ldots \parallel t_{n-3}^{(0)} \parallel t_{n-2}^{(0)} \parallel t_{n-1}^{(0)} \parallel t_n^{(0)} \parallel t_{n+1}^{(0)}] = \{[a_1^{(0)} - t_1^{(0)}] \bmod m_1 \parallel [a_2^{(0)} - t_2^{(0)}] \bmod m_2 \parallel [a_3^{(0)} - t_3^{(0)}] \bmod m_3 \parallel \ldots \parallel [a_{i-1}^{(0)} - t_{i-1}^{(0)}] \bmod m_{i-1} \parallel [a_i^{(0)} - t_i^{(0)}] \bmod m_i \parallel [a_{i+1}^{(0)} - t_{i+1}^{(0)}] \bmod m_{i+1} \parallel \ldots \parallel [a_{n-3}^{(0)} - t_{n-3}^{(0)}] \bmod m_{n-3} \parallel [a_{n-2}^{(0)} - t_{n-2}^{(0)}] \bmod m_{n-2} \parallel [a_{n-1}^{(0)} - t_{n-1}^{(0)}] \bmod m_{n-1} \parallel [a_n^{(0)} - t_n^{(0)}] \bmod m_n \parallel [a_{n+1}^{(0)} - t_{n+1}^{(0)}] \bmod m_{n+1}\} = [0 \parallel a_2^{(1)} \parallel a_3^{(1)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(1)} \parallel a_i^{(1)} \parallel a_{i+1}^{(1)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(1)} \parallel a_{n-2}^{(1)} \parallel a_{n-1}^{(1)} \parallel a_n^{(1)} \parallel a_{n+1}^{(1)}]$.
3	Обращение по значению остатка $a_2^{(1)}$ числа $A^{(1)} = [0 \parallel a_2^{(1)} \parallel a_3^{(1)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(1)} \parallel a_i^{(1)} \parallel a_{i+1}^{(1)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(1)} \parallel a_{n-2}^{(1)} \parallel a_{n-1}^{(1)} \parallel a_n^{(1)} \parallel a_{n+1}^{(1)}]$ в БКН_1 за константой нулевизации $\text{КН}^{(1)} = [0 \parallel t_2^{(1)} \parallel t_3^{(1)} \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(1)} \parallel t_i^{(1)} \parallel t_{i+1}^{(1)} \parallel \ldots \parallel t_{n-3}^{(1)} \parallel t_{n-2}^{(1)} \parallel t_{n-1}^{(1)} \parallel t_n^{(1)} \parallel t_{n+1}^{(1)}]$; $t_2^{(1)} = a_2^{(1)}$; $t_2^{(1)} = \overline{0, m_2 - 1}$.
4	Выполнение операции вычитания $A^{(2)} = A^{(1)} - \text{КН}^{(1)} = [0 \parallel a_2^{(1)} \parallel a_3^{(1)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(1)} \parallel a_i^{(1)} \parallel a_{i+1}^{(1)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(1)} \parallel a_{n-2}^{(1)} \parallel a_{n-1}^{(1)} \parallel a_n^{(1)} \parallel a_{n+1}^{(1)}] - \left[0 \parallel t_2^{(1)} \parallel t_3^{(1)} \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(1)} \parallel t_i^{(1)} \parallel t_{i+1}^{(1)} \parallel \ldots \parallel t_{n-3}^{(1)} \parallel t_{n-2}^{(1)} \parallel t_{n-1}^{(1)} \parallel t_n^{(1)} \parallel t_{n+1}^{(1)}\right] = \{0 \parallel [a_2^{(1)} - t_2^{(1)}] \bmod m_2 \parallel [a_3^{(1)} - t_3^{(1)}] \bmod m_3 \parallel \ldots \parallel [a_{i-1}^{(1)} - t_{i-1}^{(1)}] \bmod m_{i-1} \parallel [a_i^{(1)} - t_i^{(1)}] \bmod m_i \parallel [a_{i+1}^{(1)} - t_{i+1}^{(1)}] \bmod m_{i+1} \parallel \ldots \parallel [a_{n-3}^{(1)} - t_{n-3}^{(1)}] \bmod m_{n-3} \parallel [a_{n-2}^{(1)} - t_{n-2}^{(1)}] \bmod m_{n-2} \parallel [a_{n-1}^{(1)} - t_{n-1}^{(1)}] \bmod m_{n-1} \parallel [a_n^{(1)} - t_n^{(1)}] \bmod m_n \parallel [a_{n+1}^{(1)} - t_{n+1}^{(1)}] \bmod m_{n+1}\} = [0 \parallel 0 \parallel a_3^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(2)} \parallel a_i^{(2)} \parallel a_{i+1}^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(2)} \parallel a_{n-2}^{(2)} \parallel a_{n-1}^{(2)} \parallel a_n^{(2)} \parallel a_{n+1}^{(2)}]$.
5	Обращение по значению остатка $a_3^{(2)}$ числа $A^{(2)} = [0 \parallel 0 \parallel a_3^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(2)} \parallel a_i^{(2)} \parallel a_{i+1}^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(2)} \parallel a_{n-2}^{(2)} \parallel a_{n-1}^{(2)} \parallel a_n^{(2)} \parallel a_{n+1}^{(2)}]$ в БКН_2 за константой нулевизации $\text{КН}^{(2)} = [0 \parallel 0 \parallel t_3^{(2)} \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(2)} \parallel t_i^{(2)} \parallel t_{i+1}^{(2)} \parallel \ldots \parallel t_{n-3}^{(2)} \parallel t_{n-2}^{(2)} \parallel t_{n-1}^{(2)} \parallel t_n^{(2)} \parallel t_{n+1}^{(2)}]$; $t_3^{(2)} = a_3^{(2)}$; $t_3^{(2)} = \overline{0, m_3 - 1}$.
6	Выполнение операции вычитания $A^{(3)} = A^{(2)} - \text{КН}^{(2)} = [0 \parallel 0 \parallel a_3^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(2)} \parallel a_i^{(2)} \parallel a_{i+1}^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(2)} \parallel a_{n-2}^{(2)} \parallel a_{n-1}^{(2)} \parallel a_n^{(2)} \parallel a_{n+1}^{(2)}] - [0 \parallel 0 \parallel t_3^{(2)} \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(2)} \parallel t_i^{(2)} \parallel t_{i+1}^{(2)} \parallel \ldots \parallel t_{n-3}^{(2)} \parallel t_{n-2}^{(2)} \parallel t_{n-1}^{(2)} \parallel t_n^{(2)} \parallel t_{n+1}^{(2)}] = \{0 \parallel 0 \parallel [a_3^{(2)} - t_3^{(2)}] \bmod m_3 \parallel \ldots \parallel [a_{i-1}^{(2)} - t_{i-1}^{(2)}] \bmod m_{i-1} \parallel [a_i^{(2)} - t_i^{(2)}] \bmod m_i \parallel [a_{i+1}^{(2)} - t_{i+1}^{(2)}] \bmod m_{i+1} \parallel \ldots \parallel [a_{n-3}^{(2)} - t_{n-3}^{(2)}] \bmod m_{n-3} \parallel [a_{n-2}^{(2)} - t_{n-2}^{(2)}] \bmod m_{n-2} \parallel [a_{n-1}^{(2)} - t_{n-1}^{(2)}] \bmod m_{n-1} \parallel [a_n^{(2)} - t_n^{(2)}] \bmod m_n \parallel [a_{n+1}^{(2)} - t_{n+1}^{(2)}] \bmod m_{n+1}\} = [0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel a_4^{(3)} \parallel a_5^{(3)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(3)} \parallel a_i^{(3)} \parallel a_{i+1}^{(3)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(3)} \parallel a_{n-2}^{(3)} \parallel a_{n-1}^{(3)} \parallel a_n^{(3)} \parallel a_{n+1}^{(3)}]$.

Рис. 1. Процедура ПН чисел в СОК

7	Обращение по значению остатка $a_4^{(3)}$ числа $A^{(3)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert a_4^{(3)}\Vert a_5^{(3)}\Vert \ldots\Vert a_{i-1}^{(3)}\Vert a_i^{(3)}\Vert a_{i+1}^{(3)}\Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(3)}\Vert a_{n-2}^{(3)}\Vert a_{n-1}^{(3)}\Vert a_n^{(3)}\Vert a_{n+1}^{(3)}]$ в БКН_3 за константой нулевизации $\text{КН}^{(3)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert t_4^{(3)}\Vert t_5^{(3)}\Vert \ldots\Vert t_{i-1}^{(3)}\Vert t_i^{(3)}\Vert t_{i+1}^{(3)}\Vert \ldots\Vert t_{n-3}^{(3)}\Vert t_{n-2}^{(3)}\Vert t_{n-1}^{(3)}\Vert t_n^{(3)}\Vert t_{n+1}^{(3)}]$; $t_4^{(3)}=a_4^{(3)}$; $t_4^{(3)}=\overline{0,m_4-1}$.
8	Выполнение операции вычитания $A^{(4)}=A^{(3)}-\text{КН}^{(3)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert a_4^{(3)}\Vert a_5^{(3)}\Vert \ldots\Vert a_{i-1}^{(3)}\Vert a_i^{(3)}\Vert a_{i+1}^{(3)}\Vert \ldots\Vert a_{n-3}^{(3)}\Vert a_{n-2}^{(3)}\Vert a_{n-1}^{(3)}\Vert a_n^{(3)}\Vert a_{n+1}^{(3)}]-[0\Vert 0\Vert 0\Vert t_4^{(3)}\Vert t_5^{(3)}\Vert \ldots\Vert t_{i-1}^{(3)}\Vert t_i^{(3)}\Vert t_{i+1}^{(3)}\Vert \ldots\Vert t_{n-3}^{(3)}\Vert t_{n-2}^{(3)}\Vert t_{n-1}^{(3)}\Vert t_n^{(3)}\Vert t_{n+1}^{(3)}]=\{0\Vert 0\Vert 0\Vert [a_4^{(3)}-t_4^{(3)}]\bmod m_4\Vert [a_5^{(3)}-t_5^{(3)}]\bmod m_5\Vert \ldots\Vert [a_{i-1}^{(3)}-t_{i-1}^{(3)}]\bmod m_{i-1}\Vert [a_i^{(3)}-t_i^{(3)}]\bmod m_i\Vert [a_{i+1}^{(3)}-t_{i+1}^{(3)}]\bmod m_{i+1}\Vert \ldots\Vert [a_{n-3}^{(3)}-t_{n-3}^{(3)}]\bmod m_{n-3}\Vert [a_{n-2}^{(3)}-t_{n-2}^{(3)}]\bmod m_{n-2}\Vert [a_{n-1}^{(3)}-t_{n-1}^{(3)}]\bmod m_{n-1}\Vert [a_n^{(3)}-t_n^{(3)}]\bmod m_n\Vert [a_{n+1}^{(3)}-t_{n+1}^{(3)}]\bmod m_{n+1}\}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert a_5^{(4)}\Vert \ldots\Vert a_{i-1}^{(4)}\Vert a_i^{(4)}\Vert a_{i+1}^{(4)}\Vert \ldots\Vert a_{n-3}^{(4)}\Vert a_{n-2}^{(4)}\Vert a_{n-1}^{(4)}\Vert a_n^{(4)}\Vert a_{n+1}^{(4)}]$.
Для значения $A^{(i)}$	Обращение по значению остатка $a_i^{(i-1)}$ числа $A^{(i-1)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert a_i^{(i-1)}\Vert a_{i+1}^{(i-1)}\Vert \ldots\Vert a_{n-3}^{(i-1)}\Vert a_{n-2}^{(i-1)}\Vert a_{n-1}^{(i-1)}\Vert a_n^{(i-1)}\Vert a_{n+1}^{(i-1)}]$ в БКН_{i-1} за константой нулевизации $\text{КН}^{(i-1)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert t_i^{(i-1)}\Vert t_{i+1}^{(i-1)}\Vert \ldots\Vert t_{n-3}^{(i-1)}\Vert t_{n-2}^{(i-1)}\Vert t_{n-1}^{(i-1)}\Vert t_n^{(i-1)}\Vert t_{n+1}^{(i-1)}]$; $t_i^{(i-1)}=a_i^{(i-1)}$; $t_i^{(i-1)}=\overline{0,m_i-1}$.
	Выполнение операции вычитания $A^{(i)}=A^{(i-1)}-\text{КН}^{(i-1)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert a_i^{(i-1)}\Vert a_{i+1}^{(i-1)}\Vert \ldots\Vert a_{n-3}^{(i-1)}\Vert a_{n-2}^{(i-1)}\Vert a_{n-1}^{(i-1)}\Vert a_n^{(i-1)}\Vert a_{n+1}^{(i-1)}]-[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert t_i^{(i-1)}\Vert t_{i+1}^{(i-1)}\Vert \ldots\Vert t_{n-3}^{(i-1)}\Vert t_{n-2}^{(i-1)}\Vert t_{n-1}^{(i-1)}\Vert t_n^{(i-1)}\Vert t_{n+1}^{(i-1)}]=\{0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert [a_i^{(i-1)}-t_i^{(i-1)}]\bmod m_i\Vert [a_{i+1}^{(i-1)}-t_{i+1}^{(i-1)}]\bmod m_{i+1}\Vert \ldots\Vert [a_{n-3}^{(i-1)}-t_{n-3}^{(i-1)}]\bmod m_{n-3}\Vert [a_{n-2}^{(i-1)}-t_{n-2}^{(i-1)}]\bmod m_{n-2}\Vert [a_{n-1}^{(i-1)}-t_{n-1}^{(i-1)}]\bmod m_{n-1}\Vert [a_n^{(i-1)}-t_n^{(i-1)}]\bmod m_n\Vert [a_{n+1}^{(i-1)}-t_{n+1}^{(i-1)}]\bmod m_{n+1}\}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert a_{i+1}^{(i)}\Vert \ldots\Vert a_{n-3}^{(i)}\Vert a_{n-2}^{(i)}\Vert a_{n-1}^{(i)}\Vert a_n^{(i)}\Vert a_{n+1}^{(i)}]$.
$2n-3$	Обращение по значению остатка $a_{n-1}^{(n-2)}$ и числа $A^{(n-2)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert a_{n-1}^{(n-2)}\Vert a_n^{(n-2)}\Vert a_{n+1}^{(n-2)}]$ в БКН_{n-2} за константой нулевизации $\text{КН}^{(n-2)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert t_{n-1}^{(n-2)}\Vert t_n^{(n-2)}\Vert t_{n+1}^{(n-2)}]$; $t_{n-1}^{(n-2)}=a_{n-1}^{(n-2)}$; $t_{n-1}^{(n-2)}=\overline{0,m_{n-1}-1}$.
$2n-2$	Выполнение операции вычитания $A^{(n-1)}=A^{(n-2)}-\text{КН}^{(n-2)}=[0\Vert 0\Vert 0\vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert a_{n-1}^{(n-2)}\Vert a_n^{(n-2)}\Vert a_{n+1}^{(n-2)}]-[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert t_{n-1}^{(n-2)}\Vert t_n^{(n-2)}\Vert t_{n+1}^{(n-2)}]=\{0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert [a_{n-1}^{(n-2)}-t_{n-1}^{(n-2)}]\bmod m_{n-1}\Vert [a_n^{(n-2)}-t_n^{(n-2)}]\bmod m_n\Vert [a_{n+1}^{(n-2)}-t_{n+1}^{(n-2)}]\bmod m_{n+1}\}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert a_n^{(n-1)}\Vert a_{n+1}^{(n-1)}]$.
$2n-1$	Обращение по значению остатка $a_n^{(n-1)}$ числа $A^{(n-1)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert a_n^{(n-1)}\Vert a_{n+1}^{(n-1)}]$ в БКН_{n-1} за константой нулевизации $\text{КН}^{(n-1)}=[0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert \ldots\Vert 0\Vert 0\Vert 0\Vert t_n^{(n-1)}\Vert t_{n+1}^{(n-1)}]$; $t_n^{(n-1)}=a_n^{(n-1)}$; $t_n^{(n-1)}=\overline{0,m_n-1}$.

Рис. 1. Процедура ПН чисел в СОК (Продолжение)

2n	Получение нулевизированного числа $A^{(H)} = A^{(n)} = A^{(n-1)} - KH^{(n-1)} = [0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| \ldots$ $\ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| a_n^{(n-1)} \| a_{n+1}^{(n-1)}] - [0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| t_n^{(n-1)} \| t_{n+1}^{(n-1)}] = \{0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \|$ $\| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| [a_n^{(n-1)} - t_n^{(n-1)}] \bmod m_n \| [a_{n+1}^{(n-1)} - t_{n+1}^{(n-1)}] \bmod m_{n+1}\} = [0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| \ldots$ $\| 0 \| 0 \| 0 \| 0 \| a_{n+1}^{(n)}]$, где $a_{n+1}^{(n)} = \gamma_{n+1}$.
$T_{H1} = 2 \cdot n \cdot \tau_{сл}$	

Рис. 1. Процедура ПН чисел в СОК (Окончание)

При реализации БН в табличном варианте можно считать, что практически $t_1 = t_2 = \tau_{сл}$. В этом случае для процедуры ПН время нулевизации равняется значению $T_{H1}=2n\tau_{сл}$, где: $\tau_{сл}$ - время вычитания из числа $A^{(i)}$ константы нулевизации $KH^{(i)}$; n – количество информационных оснований СОК. Кроме этого для реализации процедуры нулевизации первым методом Н1 в БН необходимо хранить $K_{H1} = \sum_{i+1}^{n} m_i - n$ констант нулевизации. При этом количество N_{H1} двоичных разрядов констант нулевизации, которое косвенно определяет количество оборудования (емкость) БКН КС, определяется выражением $N_{H1} = \left(\sum_{i+1}^{n} m_i - 1\right)(n-i)$. Очевидно, что рассмотренная базовая процедура ПН не исчерпывает возможности повышения быстродействия реализации процедуры нулевизации чисел, поскольку выполнение операции вычитания $A^{(i+1)} = A^{(i)} - KH^{(i)}$ и выборки очередной КН разнесены во времени. Это обусловлено тем, что пока не закончена операция вычитания, заранее неизвестен остаток числа, по которому должна быть выбрана КН для следующего этапа процедуры нулевизиции. Рассмотрим процедуру нулевизации, устраняющую этот недостаток.

Рассмотрим вторую (Н2) процедуру нулевизации – процедуру последовательной нулевизации с определением последующего остатка (ПН ОПО). Использование этой процедуры позволяет уменьшить, по сравнению с первой Н1 процедурой, время контроля данных в СОК. Суть процедуры состоит в том, что пока производится выборка константы нулевизации $KH^{(i)} = [0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| t_{i+1}^{(i)} \| t_{i+2}^{(i)} \| \ldots$ $\ldots \| t_{n-3}^{(i)} \| t_{n-2}^{(i)} \| t_{n-1}^{(i)} \| t_n^{(i)} \| t_{n+1}^{(i)}]$ для числа $A^{(i)} = [0 \|$ $\| 0 \| 0 \| \ldots \| a_{i+1}^{(i)} \| a_{i+2}^{(i)} \| \ldots \| a_{n-3}^{(i)} \| a_{n-2}^{(i)} \| a_{n-1}^{(i)} \| a_n^{(i)} \|$ $\| a_{n+1}^{(i)}]$ по значению остатка $a_{i+1}^{(i)}$ по основанию m_{i+1}, в вычислительном тракте (ВТ) КС, функционирующем по основанию m_{i+2}, может быть сформировано значение остатка $a_{i+2}^{(i+1)}$, по которому на следующем этапе нулевизации будет производиться выборка следующей константы нулевизации $KH^{(i+1)} = [0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| t_{i+2}^{(i+1)} \| t_{i+3}^{(i+1)} \| \ldots \| t_{n-3}^{(i+1)} \|$ $\| t_{n-2}^{(i+1)} \| t_{n-1}^{(i+1)} \| t_n^{(i+1)} \| t_{n+1}^{(i+1)}]$.

Значение величины Δa_{i+2}, которое будет вычтено из значения $a_{i+2}^{(i)}$, чтобы получить значение остатка $a_{i+2}^{(i+1)}$, определяется только значением остатка $a_{i+1}^{(i)}$. Аналитически это определяется следующим соотношением

$$a_{i+2}^{(i+1)} = \left[a_{i+2}^{(i)} - \Delta a_{i+2}\right] \bmod m_{i+2}. \qquad (4)$$

В процессе выборки $KH^{(i)}$ по значению остатка $a_{i+1}^{(i)}$ числа $A^{(i)}$, этот же остаток одновременно будет передан в ВТ КС по основанию m_{i+2}. В этом случае из соответствующих, предварительно составленных двухвходовых таблиц $F\left\{a_{i+2}^{(i+1)}\right\} = \left[a_{i+1}^{(i)};\ a_{i+2}^{(i)}\right]$, по значениям $a_{i+1}^{(i)}$ и $a_{i+2}^{(i)}$ выбирается значение $a_{i+2}^{(i+1)}$. Алгоритм выполнения процедуры ПН ОПО представлен в табл. 2. Число сложений для процедуры ПН ОПО равно n, поскольку нулевизация проводится по всем n информационным основаниям СОК. Однако после каждых двух сложений требуется один дополнительный такт для образования очередного адреса и обращения в БН. В связи с этим на каждые два такта вычитания приходится один такт, свободный от операции вычитания из числа операций выборки очередной константы нулевизации. Таким образом, общее количество тактов, свободных от операции вычитания, во время которых производится обращение в БН КС и образования очередного адреса, определяется величиной [n/2]. Процедура ПН ОПО представлен на рис. 2.

Таблица 2

Алгоритм ПН ОПО

№ операции	Содержание операции	
1	2	3
1	Обращение по значению остатка $a_1^{(0)}$ числа $A^{(0)}$ в $БКН_0$ за $КН^{(0)}$.	Образование значения остатка $a_2^{(1)}$ числа $A^{(1)}$ в виде $a_2^{(1)}=t_2^{(1)}=\left[a_2^{(0)}-a_1^{(0)}\right]\bmod m_2$.
2	Выполнение операции вычитания $A^{(1)}=A^{(0)}-КН^{(0)}$.	Обращение по значению остатка $a_2^{(1)}$ числа $A^{(1)}$ в $БКН_1$ за $КН^{(1)}$.
3	Выполнение операции вычитания $A^{(2)}=A^{(1)}-КН^{(1)}$.	Образование значения остатка $a_3^{(2)}$ числа $A^{(2)}$ в виде $a_3^{(2)}=t_3^{(2)}=\left[a_3^{(1)}-a_2^{(1)}\right]\bmod m_3$.
4	Обращение по значению остатка $a_3^{(2)}$ числа $A^{(2)}$ в $БКН_2$ за $КН^{(2)}$.	Образование значения остатка $a_4^{(3)}$ числа $A^{(3)}$ в виде $a_4^{(3)}=t_4^{(3)}=\left[a_4^{(2)}-a_3^{(2)}\right]\bmod m_4$.
5	Выполнение операции вычитания $A^{(3)}=A^{(2)}-КН^{(2)}$.	Обращение по значению остатка $a_4^{(3)}$ числа $A^{(3)}$ в $БКН_3$ за $КН^{(3)}$.
6	Выполнение операции вычитания $A^{(4)}=A^{(3)}-КН^{(3)}$.	Образование значения остатка $a_5^{(4)}$ числа $A^{(4)}$ в виде $a_5^{(4)}=t_5^{(4)}=\left[a_5^{(3)}-a_4^{(3)}\right]\bmod m_5$.
$\vdots$	…	…
i	Выполнение операции вычитания $A^{(i)}=A^{(i-1)}-КН^{(i-1)}$.	Обращение по значениям остатка $a_{i+1}^{(i)}$ числа $A^{(i)}$ в $БКН_i$ за $КН^{(i)}$.
$i+1$	Выполнение операции вычитания $A^{(i+1)}=A^{(i)}-КН^{(i)}$.	Образование значения остатка $a_{i+2}^{(i+1)}$ числа $A^{(i+1)}$ в виде $a_{i+2}^{(i+1)}=t_{i+2}^{(i+1)}=\left[a_{i+2}^{(i)}-a_{i+1}^{(i)}\right]\bmod m_{i+2}$.
$i+2$	Обращение по значению остатка $a_{i+2}^{(i+1)}$ числа $A^{(i+1)}$ в $БКН_{i+1}$ за $КН^{(i+1)}$.	Образование значения остатка $a_{i+3}^{(i+2)}$ числа $A^{(i+2)}$ в виде $a_{i+3}^{(i+2)}=t_{i+3}^{(i+2)}=\left[a_{i+3}^{(i+1)}-a_{i+2}^{(i+1)}\right]\bmod m_{i+3}$.
$\vdots$	…	…
К-2	Обращение по значению остатка $a_{n-1}^{(n-2)}$ числа $A^{(n-2)}$ в $БКН_{n-2}$ за $КН^{(n-2)}$.	Образование значения остатка $a_n^{(n-1)}$ числа $A^{(n-1)}$ в виде $a_n^{(n-1)}=t_n^{(n-1)}=\left[a_n^{(n-2)}-a_{n-1}^{(n-2)}\right]\bmod m_n$.
К-1	Выполнение операции вычитания $A^{(n-1)}=A^{(n-2)}-КН^{(n-2)}$.	Обращение по значению остатка $a_n^{(n-1)}$ числа $A^{(n-1)}$ в $БКН_{n-1}$ за $КН^{(n-1)}$.
К	Выполнение операции вычитания $A^{(n)}=A^{(n-1)}-КН^{(n-1)}$. Получение нулевизируемого $A^{(Н)}$ числа $A^{(Н)}=A^{(n)}= \; =[0\,\|\,0\,\|\ldots\|\,0\,\|\ldots\|\,0\,\|\,0\,\|\,(\gamma_{n+1}=a_{n+1}^{(n)})]$	

Время $T_{Н2}$ выполнения процедуры нулевизации ПН ОПО определяется значением (5)

$$T_{Н2}=\left(\left[\frac{n-1}{2}\right]+n\right)\cdot\tau_{сл}\,. \qquad (5)$$

Для реализации процедуры нулевизации вторым методом в БН необходимо иметь $K_{Н2}=\sum_{i=1}^{n-1}(m_i-1)$ констант нулевизации. При этом количество $N_{Н2}$ двоичных разрядов БКН СОД определяется выражением

$$N_{Н2}=\sum_{i=1}^{n-1}(m_i-1)\cdot(n-i)\,.$$

№ операции (такта)	Содержание операций	
1	2	3
1	Обращение по значению остатка $a_1^{(0)}$ числа $A = A^{(0)} = [a_1^{(0)} \Vert a_2^{(0)} \Vert a_3^{(0)} \Vert \ldots \Vert a_{i-1}^{(0)} \Vert a_i^{(0)} \Vert a_{i+1}^{(0)} \Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(0)} \Vert a_{n-2}^{(0)} \Vert a_{n-1}^{(0)} \Vert a_n^{(0)} \Vert a_{n+1}^{(0)}]$ в БКН_0 за константой нулевизации $\text{КН}^{(0)} = [t_1^{(0)} \Vert t_2^{(0)} \Vert t_3^{(0)} \Vert \ldots \Vert t_{i-1}^{(0)} \Vert t_i^{(0)} \Vert t_{i+1}^{(0)} \Vert \ldots \Vert t_{n-3}^{(0)} \Vert t_{n-2}^{(0)} \Vert t_{n-1}^{(0)} \Vert t_n^{(0)} \Vert t_{n+1}^{(0)}]$.	Образование значения остатка $a_2^{(1)}$ числа $A^{(1)} = [0 \Vert a_2^{(1)} \Vert a_3^{(1)} \Vert \ldots \Vert a_{i-1}^{(1)} \Vert a_i^{(1)} \Vert a_{i+1}^{(1)} \Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(1)} \Vert a_{n-2}^{(1)} \Vert a_{n-1}^{(1)} \Vert a_n^{(1)} \Vert a_{n+1}^{(1)}]$ в виде $a_2^{(1)} = t_2^{(1)} = \left[a_2^{(0)} - a_1^{(0)}\right] \bmod m_2$.
2	Выполнение операции вычитания $A^{(1)} = A^{(0)} - \text{КН}^{(0)} = [a_1^{(0)} \Vert a_2^{(0)} \Vert a_3^{(0)} \Vert \ldots \Vert a_{i-1}^{(0)} \Vert a_i^{(0)} \Vert a_{i+1}^{(0)} \Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(0)} \Vert a_{n-2}^{(0)} \Vert a_{n-1}^{(0)} \Vert a_n^{(0)} \Vert a_{n+1}^{(0)}] - [t_1^{(0)} \Vert t_2^{(0)} \Vert t_3^{(0)} \Vert \ldots \Vert t_{i-1}^{(0)} \Vert t_i^{(0)} \Vert t_{i+1}^{(0)} \Vert \ldots \Vert t_{n-3}^{(0)} \Vert t_{n-2}^{(0)} \Vert t_{n-1}^{(0)} \Vert t_n^{(0)} \Vert t_{n+1}^{(0)}] = \{[a_1^{(0)} - t_1^{(0)}] \bmod m_1 \Vert [a_2^{(0)} - t_2^{(0)}] \bmod m_2 \Vert [a_3^{(0)} - t_3^{(0)}] \bmod m_3 \Vert \ldots \Vert [a_{i-1}^{(0)} - t_{i-1}^{(0)}] \bmod m_{i-1} \Vert [a_i^{(0)} - t_i^{(0)}] \bmod m_i \Vert [a_{i+1}^{(0)} - t_{i+1}^{(0)}] \bmod m_{i+1} \Vert \ldots \Vert [a_{n-3}^{(0)} - t_{n-3}^{(0)}] \bmod m_{n-3} \Vert [a_{n-2}^{(0)} - t_{n-2}^{(0)}] \bmod m_{n-2} \Vert [a_{n-1}^{(0)} - t_{n-1}^{(0)}] \bmod m_{n-1} \Vert \ldots \Vert [a_n^{(0)} - t_n^{(0)}] \bmod m_n \Vert [a_{n+1}^{(0)} - t_{n+1}^{(0)}] \bmod m_{n+1}\} = [0 \Vert a_2^{(1)} \Vert a_3^{(1)} \Vert \ldots \Vert a_{i-1}^{(1)} \Vert a_i^{(1)} \Vert a_{i+1}^{(1)} \Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(1)} \Vert a_{n-2}^{(1)} \Vert a_{n-1}^{(1)} \Vert a_n^{(1)} \Vert a_{n+1}^{(1)}]$.	Обращение по значению остатка $a_2^{(1)}$ числа $A^{(1)} = [0 \Vert a_2^{(1)} \Vert a_3^{(1)} \Vert \ldots \Vert a_{i-1}^{(1)} \Vert a_i^{(1)} \Vert a_{i+1}^{(1)} \Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(1)} \Vert a_{n-2}^{(1)} \Vert a_{n-1}^{(1)} \Vert a_n^{(1)} \Vert a_{n+1}^{(1)}]$ в БКН_1 за константой нулевизации $\text{КН}^{(1)} = [0 \Vert t_2^{(1)} \Vert t_3^{(1)} \Vert \ldots \Vert t_{i-1}^{(1)} \Vert t_i^{(1)} \Vert t_{i+1}^{(1)} \Vert \ldots \Vert t_{n-3}^{(1)} \Vert t_{n-2}^{(1)} \Vert t_{n-1}^{(1)} \Vert t_n^{(1)} \Vert t_{n+1}^{(1)}]$.
3	Выполнение операции вычитания $A^{(2)} = A^{(1)} - \text{КН}^{(1)} = [0 \Vert a_2^{(1)} \Vert a_3^{(1)} \Vert \ldots \Vert a_{i-1}^{(1)} \Vert a_i^{(1)} \Vert a_{i+1}^{(1)} \Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(1)} \Vert a_{n-2}^{(1)} \Vert a_{n-1}^{(1)} \Vert a_n^{(1)} \Vert a_{n+1}^{(1)}] - [0 \Vert t_2^{(1)} \Vert t_3^{(1)} \Vert \ldots \Vert t_{i-1}^{(1)} \Vert t_i^{(1)} \Vert t_{i+1}^{(1)} \Vert \ldots \Vert t_{n-3}^{(1)} \Vert t_{n-2}^{(1)} \Vert t_{n-1}^{(1)} \Vert t_n^{(1)} \Vert t_{n+1}^{(1)}] = \{0 \Vert [a_2^{(1)} - t_2^{(1)}] \bmod m_2 \Vert [a_3^{(1)} - t_3^{(1)}] \bmod m_3 \Vert \ldots \Vert [a_{i-1}^{(1)} - t_{i-1}^{(1)}] \bmod m_{i-1} \Vert [a_i^{(1)} - t_i^{(1)}] \bmod m_i \Vert [a_{i+1}^{(1)} - t_{i+1}^{(1)}] \bmod m_{i+1} \Vert \ldots \Vert [a_{n-3}^{(1)} - t_{n-3}^{(1)}] \bmod m_{n-3} \Vert [a_{n-2}^{(1)} - t_{n-2}^{(1)}] \bmod m_{n-2} \Vert [a_{n-1}^{(1)} - t_{n-1}^{(1)}] \bmod m_{n-1} \Vert [a_n^{(1)} - t_n^{(1)}] \bmod m_n \Vert [a_{n+1}^{(1)} - t_{n+1}^{(1)}] \bmod m_{n+1}\} = [0 \Vert 0 \Vert a_3^{(2)} \Vert \ldots \Vert a_{i-1}^{(2)} \Vert a_i^{(2)} \Vert a_{i+1}^{(2)} \Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(2)} \Vert a_{n-2}^{(2)} \Vert a_{n-1}^{(2)} \Vert a_n^{(2)} \Vert a_{n+1}^{(2)}]$.	Образование значения остатка $a_3^{(2)}$ числа $A^{(2)} = [0 \Vert 0 \Vert a_3^{(2)} \Vert \ldots \Vert a_{i-1}^{(2)} \Vert a_i^{(2)} \Vert a_{i+1}^{(2)} \Vert \ldots \Vert a_{n-3}^{(2)} \Vert a_{n-2}^{(2)} \Vert a_{n-1}^{(2)} \Vert a_n^{(2)} \Vert a_{n+1}^{(2)}]$ в виде $a_3^{(2)} = t_3^{(2)} = \left[a_3^{(1)} - a_2^{(1)}\right] \bmod m_3$.

Рис. 2. Процедура ПН ОПО

4	Обращение по значению остатка $a_3^{(2)}$ числа $A^{(2)}=[0 \parallel 0 \parallel a_3^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(2)} \parallel a_i^{(2)} \parallel a_{i+1}^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(2)} \parallel \parallel a_{n-2}^{(2)} \parallel a_{n-1}^{(2)} \parallel a_n^{(2)} \parallel a_{n+1}^{(2)}]$ в $БКН_2$ за константой нулевизации $KH^{(2)}$.	Образование значения остатка $a_4^{(3)}$ числа $A^{(3)}=[0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(3)} \parallel a_i^{(3)} \parallel a_{i+1}^{(3)} \parallel \ldots \ldots \parallel a_{n-3}^{(3)} \parallel a_{n-2}^{(3)} \parallel a_{n-1}^{(3)} \parallel a_n^{(3)} \parallel a_{n+1}^{(3)}]$ в виде $a_4^{(3)}=t_4^{(3)}=\left[a_4^{(2)}-a_3^{(2)}\right] \bmod m_4$.
5	Выполнение операции вычитания $A^{(3)}=A^{(2)}-KH^{(2)}=[0 \parallel 0 \parallel a_3^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(2)} \parallel a_i^{(2)} \parallel \parallel a_{i+1}^{(2)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(2)} \parallel a_{n-2}^{(2)} \parallel a_{n-1}^{(2)} \parallel a_n^{(2)} \parallel a_{n+1}^{(2)}]-[0 \parallel 0 \parallel \parallel t_3^{(2)} \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(2)} \parallel t_i^{(2)} \parallel t_{i+1}^{(2)} \parallel \ldots \parallel t_{n-3}^{(2)} \parallel t_{n-2}^{(2)} \parallel t_{n-1}^{(2)} \parallel \parallel t_n^{(2)} \parallel t_{n+1}^{(2)}]=0 \parallel 0 \parallel [a_3^{(2)}-t_3^{(2)}] \bmod m_3 \parallel \ldots \parallel [a_{i-1}^{(2)}- -t_{i-1}^{(2)}] \bmod m_{i-1} \parallel [a_i^{(2)}-t_i^{(2)}] \bmod m_i \parallel [a_{i+1}^{(2)}- -t_{i+1}^{(2)}] \bmod m_{i+1} \parallel \ldots \parallel [a_{n-3}^{(2)}-t_{n-3}^{(2)}] \bmod m_{n-3} \parallel [a_{n-2}^{(2)}- -t_{n-2}^{(2)}] \bmod m_{n-2} \parallel [a_{n-1}^{(2)}-t_{n-1}^{(2)}] \bmod m_{n-1} \parallel [a_n^{(2)}- -t_n^{(2)}] \bmod m_n \parallel [a_{n+1}^{(2)}-t_{n+1}^{(2)}] \bmod m_{n+1}\}=[0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel a_4^{(3)} \parallel \parallel a_5^{(3)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(3)} \parallel a_i^{(3)} \parallel a_{i+1}^{(3)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(3)} \parallel a_{n-2}^{(3)} \parallel a_{n-1}^{(3)} \parallel a_n^{(3)} \parallel \parallel a_{n+1}^{(3)}]$.	Обращение по значению остатка $a_4^{(3)}$ числа $A^{(3)}=[0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(3)} \parallel a_i^{(3)} \parallel \parallel a_{i+1}^{(3)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(3)} \parallel a_{n-2}^{(3)} \parallel a_{n-1}^{(3)} \parallel a_n^{(3)} \parallel a_{n+1}^{(3)}]$ в $БКН_3$ за константой нулевизации $KH^{(3)}=[0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(3)} \parallel t_i^{(3)} \parallel t_{i+1}^{(3)} \parallel \ldots \ldots \parallel t_{n-3}^{(3)} \parallel t_{n-2}^{(3)} \parallel t_{n-1}^{(3)} \parallel t_n^{(3)} \parallel t_{n+1}^{(3)}]$.
6	Выполнение операции вычитания $A^{(4)}=A^{(3)}- -KH^{(3)}=[0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(3)} \parallel a_i^{(3)} \parallel a_{i+1}^{(3)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(3)} \parallel \parallel a_{n-2}^{(3)} \parallel a_{n-1}^{(3)} \parallel a_n^{(3)} \parallel a_{n+1}^{(3)}]-[0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel \ldots \parallel t_{i-1}^{(3)} \parallel t_i^{(3)} \parallel \parallel t_{i+1}^{(3)} \parallel \ldots \parallel t_{n-3}^{(3)} \parallel t_{n-2}^{(3)} \parallel t_{n-1}^{(3)} \parallel t_n^{(3)} \parallel t_{n+1}^{(3)}]=\{0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel \parallel [a_4^{(3)}-t_4^{(3)}] \bmod m_4 \parallel [a_5^{(3)}-t_5^{(3)}] \bmod m_5 \parallel \ldots \ldots \parallel [a_{i-1}^{(3)}-t_{i-1}^{(3)}] \bmod m_{i-1} \parallel [a_i^{(3)}-t_i^{(3)}] \bmod m_i \parallel [a_{i+1}^{(3)}- -t_{i+1}^{(3)}] \bmod m_{i+1} \parallel \ldots \parallel [a_{n-3}^{(3)}-t_{n-3}^{(3)}] \bmod m_{n-3} \parallel [a_{n-2}^{(3)}- -t_{n-2}^{(3)}] \bmod m_{n-2} \parallel [a_{n-1}^{(3)}-t_{n-1}^{(3)}] \bmod m_{n-1} \parallel [a_n^{(3)}- -t_n^{(3)}] \bmod m_n \parallel [a_{n+1}^{(3)}-t_{n+1}^{(3)}] \bmod m_{n+1}\Big\}=[0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel \parallel a_5^{(4)} \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(4)} \parallel a_i^{(4)} \parallel a_{i+1}^{(4)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(4)} \parallel a_{n-2}^{(4)} \parallel a_{n-1}^{(4)} \parallel a_n^{(4)} \parallel \parallel a_{n+1}^{(4)}]$.	Образование значения остатка $a_5^{(4)}$ числа $A^{(4)}=[0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel \ldots \parallel a_{i-1}^{(4)} \parallel a_i^{(4)} \parallel \parallel a_{i+1}^{(4)} \parallel \ldots \parallel a_{n-3}^{(4)} \parallel a_{n-2}^{(4)} \parallel a_{n-1}^{(4)} \parallel a_n^{(4)} \parallel a_{n+1}^{(4)}]$ в виде $a_5^{(4)}=t_5^{(4)}=\left[a_5^{(3)}-a_4^{(3)}\right] \bmod m_5$.
⋮	…	…

Рис. 2. Процедура ПН ОПО (Продолжение)

<table>
<tr><td>Для значения $A^{(i)}$</td><td>Выполнение операции вычитания $A^{(i)} = A^{(i-1)} - \text{КН}^{(i-1)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|a_i^{(i-1)}\|a_{i+1}^{(i-1)}\|\dots\|a_{n-3}^{(i-1)}\|a_{n-2}^{(i-1)}\|a_{n-1}^{(i-1)}\|a_n^{(i-1)}\|a_{n+1}^{(i-1)}] - [0\|0\|0\|\dots\|0\|t_i^{(i-1)}\|t_{i+1}^{(i-1)}\|\dots\|t_{n-3}^{(i-1)}\|t_{n-2}^{(i-1)}\|t_{n-1}^{(i-1)}\|t_n^{(i-1)}\|t_{n+1}^{(i-1)}] = \{0\|0\|0\|...\|0\|[a_i^{(i-1)} - t_i^{(i-1)}] \bmod m_i\|[a_{i+1}^{(i-1)} - t_{i+1}^{(i-1)}] \bmod m_{i+1}\|...\|[a_{n-3}^{(i-1)} - t_{n-3}^{(i-1)}] \bmod m_{n-3}\|[a_{n-2}^{(i-1)} - t_{n-2}^{(i-1)}] \bmod m_{n-2}\|[a_{n-1}^{(i-1)} - t_{n-1}^{(i-1)}] \bmod m_{n-1}\|[a_n^{(i-1)} - t_n^{(i-1)}] \bmod m_n\|[a_{n+1}^{(i-1)} - t_{n+1}^{(i-1)}] \bmod m_{n+1}\} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|a_{i+1}^{(i)}\|...\|a_{n-3}^{(i)}\|a_{n-2}^{(i)}\|a_{n-1}^{(i)}\|a_n^{(i)}\|a_{n+1}^{(i)}]$.</td><td>Обращение по значениям остатка $a_{i+1}^{(i)}$ числа $A^{(i)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|a_{i+1}^{(i)}\|\dots\|a_{n-3}^{(i)}\|a_{n-2}^{(i)}\|a_{n-1}^{(i)}\|a_n^{(i)}\|a_{n+1}^{(i)}]$ в БКН_i за константой нулевизации $\text{КН}^{(i)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|t_{i+1}^{(i)}\|\dots\|t_{n-3}^{(i)}\|t_{n-2}^{(i)}\|t_{n-1}^{(i)}\|t_n^{(i)}\|t_{n+1}^{(i)}]$.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Для значения $A^{(i+1)}$</td><td>Выполнение операции вычитания $A^{(i+1)} = A^{(i)} - \text{КН}^{(i)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|a_{i+1}^{(i)}\|\dots\|a_{n-3}^{(i)}\|a_{n-2}^{(i)}\|a_{n-1}^{(i)}\|a_n^{(i)}\|a_{n+1}^{(i)}] - [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|t_{i+1}^{(i)}\|\dots\|t_{n-3}^{(i)}\|t_{n-2}^{(i)}\|t_{n-1}^{(i)}\|t_n^{(i)}\|t_{n+1}^{(i)}]$.</td><td>Образование значения остатка $a_{i+2}^{(i+1)}$ числа $A^{(i+1)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|a_{n-3}^{(i+1)}\|a_{n-2}^{(i+1)}\|a_{n-1}^{(i+1)}\|a_n^{(i+1)}\|a_{n+1}^{(i+1)}]$ в виде $a_{i+2}^{(i+1)} = t_{i+2}^{(i+1)} = [a_{i+2}^{(i)} - a_{i+1}^{(i)}] \bmod m_{i+2}$.</td></tr>
<tr><td>Обращение по значению остатка $a_{i+2}^{(i+1)}$ числа $A^{(i+1)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|a_{n-3}^{(i+1)}\|a_{n-2}^{(i+1)}\|a_{n-1}^{(i+1)}\|a_n^{(i+1)}\|a_{n+1}^{(i+1)}]$ в БКН_{i+1} за константой нулевизации $\text{КН}^{(i+1)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|t_{n-3}^{(i+1)}\|t_{n-2}^{(i+1)}\|t_{n-1}^{(i+1)}\|t_n^{(i+1)}\|t_{n+1}^{(i+1)}]$.</td><td>Образование значения остатка $a_{i+3}^{(i+2)}$ числа $A^{(i+2)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|a_{n-3}^{(i+2)}\|a_{n-2}^{(i+2)}\|a_{n-1}^{(i+2)}\|a_n^{(i+2)}\|a_{n+1}^{(i+2)}]$ в виде $a_{i+3}^{(i+2)} = t_{i+3}^{(i+2)} = [a_{i+3}^{(i+1)} - a_{i+2}^{(i+1)}] \bmod m_{i+3}$.</td></tr>
<tr><td>⋮</td><td>…</td><td>…</td></tr>
<tr><td>$k-2$</td><td>Обращение по значению остатка $a_{n-1}^{(n-2)}$ числа $A^{(n-2)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|a_{n-1}^{(n-2)}\|a_n^{(n-2)}\|a_{n+1}^{(n-2)}]$ в БКН_{n-2} за константой нулевизации $\text{КН}^{(n-2)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|t_{n-1}^{(n-2)}\|t_n^{(n-2)}\|t_{n+1}^{(n-2)}]$.</td><td>Образование значения остатка $a_n^{(n-1)}$ числа $A^{(n-1)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|a_n^{(n-1)}\|a_{n+1}^{(n-1)}]$ в виде $a_n^{(n-1)} = t_n^{(n-1)} = \left[a_n^{(n-2)} - a_{n-1}^{(n-2)}\right] \bmod m_n$.</td></tr>
<tr><td>$k-1$</td><td>Выполнение операции вычитания $A^{(n-1)} = A^{(n-2)} - \text{КН}^{(n-2)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|a_{n-1}^{(n-2)}\|a_n^{(n-2)}\|a_{n+1}^{(n-2)}] - [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|t_{n-1}^{(n-2)}\|t_n^{(n-2)}\|t_{n+1}^{(n-2)}]$.</td><td>Обращение по значению остатка $a_n^{(n-1)}$ числа $A^{(n-1)} = [0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|\dots\|0\|0\|0\|a_n^{(n-1)}\|a_{n+1}^{(n-1)}]$ в БКН_{n-1} за константой нулевизации $\text{КН}^{(n-1)}$.</td></tr>
</table>

Рис. 2. Процедура ПН ОПО (Продолжение)

k	Выполнение операции вычитания $A^{(n)} = A^{(n-1)} - KH^{(n-1)} = [0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| \| a_n^{(n-1)} \| a_{n+1}^{(n-1)}] - [0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| \ldots \| 0 \| 0 \| 0 \| 0 \| t_{n+1}^{(n-1)}]$. Получение нулевизируемого $A^{(H)}$ числа $A^{(H)} = A^{(n)} = [0 \| 0 \| ... \| 0 \| ... \| 0 \| 0 \| \gamma_{n+1} = a_{n+1}^{(n)}]$.
$T_{H2} = \left(\left[\frac{n-1}{2}\right] + n\right) \cdot \tau_{сл}$	

Рис. 2. Процедура ПН ОПО (Окончание)

В таблице 3 представлены расчётные данные относительного $T_{Hi}/\tau_{сл}$ $(i = 1, 2)$ времени нулевизации для первой (H1) и второй (H2) процедур. В табл. 3 также представлен коэффициент эффективности $K_{H1} = \frac{T_{H1} - T_{H2}}{T_{H1}} \cdot 100\%$ использования второй (H2) процедуры, относительно первой (H1) процедуры для l-байтовых (l=1, 2, 3, 4, 8) разрядных сеток КС. Из табл. 3 видно, что использования процедуры H2 нулевизации примерно на одну треть уменьшает время контроля данных в СОК.

Таблица 3

Данные расчета и сравнительного анализа времени нулевизации чисел в СОК

l(n) / T_{Hi}	1(4)	2(6)	3(8)	4(10)	8(16)
T_{H1}	8	12	16	20	32
T_{H2}	5	8	11	14	23
K_{H1}	37	30	31	30	28

Заключение

В данной статье предлагается метод оперативного контроля данных в СОК. Метод основан на реализации процедуры последовательной нулевизации с определением последующего остатка непозиционной кодовой структуры в СОК. Проведенный расчет и сравнительный анализ показали, что использование этой процедуры позволяет уменьшить, по сравнению с базовой в СОК процедурой нулевизации, время контроля данных в СОК до 30% .

Литература

1. Izbenko, Yu. The design of boolean functions by modified hill climbing method [Text] / Yu. Izbenko, V. Kovtun, A. Kuznetsov // Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology: New Generations, April 27-29. – Las Vegas, Nevada, USA. – ITNG’2009. – P. 356-361.

2. Stasev, Yu. V. Asymmetric Code-Theoretical Schemes Constructed with the Use of Algebraic Geometric Codes [Text] / Yu. V. Stasev, A. A. Kuznetsov // Cybernetics and Systems Analysis. – May 2005. – Volume 41, Issue 3. – P. 354 – 363.

3. Krasnobayev, V.A. Method for Realization of Transformations in Public-Key Cryptography [Text] / V. A. Krasnobayev // Telecommunications and Radio Engineering (USA). – 2007. – Vol. 66, Issue 17. – P. 1559-1572.

4. Koshman, S. A. Method of realization of cryptographic rsa transformations on the basis of application of modular number system [Text] / S. A. Koshman, V. A. Krasnobayev // Biomedical Soft Computing and Human Sciences (JAPAN). – 2011. – Vol. 17, No. 2. – P. 31–36.

5. Краснобаев, В. А. Метод исправления однократных ошибок данных, представленных кодом класса вычетов [Текст] / В. А. Краснобаев, С. А. Кошман, М. А. Маврина // Электрон. моделирование. – 2013. – Т. 35, № 5. – С. 43–56.

6. Krasnobayev, V. A. A method for increasing the reliability of verification of data represented in a residue number system [Text] / V. A. Krasnobayev, S. A. Koshman, M. A. Mavrina // Cybernetics and Systems Analysis. – November 2014. – Vol. 50, Issue 6. – P. 969-976.

7. Krasnobayev, V. A. A method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system [Text] / V. A. Krasnobayev, A. S. Yanko, S. A. Koshman // Cybernetics and Systems Analysis. – January 2016. – Vol. 52, Issue 1. – P. 145-150.

References

1. Izbenko, Yu., Kovtun, V., Kuznetsov, A. The design of boolean functions by modified hill climbing method. *Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology: New Generations*, April 27-29, ITNG’2009, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 356-361.

2. Stasev, Yu. V., Kuznetsov, A. A., Asymmetric Code-Theoretical Schemes Constructed with the Use of Algebraic Geometric Codes. *Cybernetics and Systems Analysis.* May 2005, vol. 41, Iss. 3, pp. 354 – 363.

3. Krasnobayev, V.A. Method for Realization of Transformations in Public-Key Cryptography. *Telecommunications and Radio Engineering* (USA), 2007, vol. 66, iss. 17, pp. 1559-1572.

4. Koshman, S. A., Krasnobayev, V. A. Method of realization of cryptographic rsa transformations on the

basis of application of modular number system. *Biomedical Soft Computing and Human Sciences* (JAPAN), 2011, vol. 17, no. 2, pp. 31–36.

5. Krasnobaev, V. A., Koshman, S. A., Mavrina, M. A. Metod ispravleniya odnokratnykh oshibok dannykh, predstavlennykh kodom klassa vychetov [The method of correcting single error data submitted by the residue class code]. *Elektronnoe modelirovanie,* 2013, vol. 35, no. 5, pp. 43–56.

6. Krasnobayev, V. A., Koshman, S. A., Mavrina, M. A. A method for increasing the reliability of verification of data represented in a residue number system. *Cybernetics and Systems Analysis* (USA), November 2014, vol. 50, iss. 6, pp. 969–976.

7. Krasnobayev, V. A., Yanko, A. S., Koshman, S. A. A method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system. *Cybernetics and Systems Analysis* (USA), January 2016, vol. 52, iss. 1, pp. 145-150.

Поступила в редакцию 20.12.2016, рассмотрена на редколлегии 16.02.2017

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ДАНИХ У СИСТЕМІ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ, ЩО ЗАСНОВАНИЙ НА ПРИНЦИПІ ПОСЛІДОВНОЇ НУЛЕВІЗАЦІЇ

В. А. Краснобаєв, С. О. Кошман, А. С. Янко

У статті розглянуто метод оперативного контролю даних у системі залишкових класів (СЗК), що заснований на принципі послідовної нулевізації. Даний метод реалізується шляхом застосування процедури послідовної нулевізації з визначенням подальшого залишку непозиційної кодової структури. Суть методу полягає в тому, що поки проводиться вибірка константи нулевізації $KH^{(i)}$ для числа $A^{(i)}$ за значенням залишку $a_{i+1}^{(i)}$ за основою m_{i+1}, в обчислювальному тракті комп'ютерної системи у СЗК, який функціонує за основою m_{i+2}, може бути сформоване значення залишку $a_{i+2}^{(i+1)}$, за яким на наступному етапі нулевізації буде здійснюватися вибірка чергової константи нулевізації $KH^{(i+1)}$. У статті представлено дані розрахунку і порівняльного аналізу часу контролю даних у СЗК.

Ключові слова: система залишкових класів (СЗК), метод контролю у СЗК, принцип послідовної нулевізації, обчислювальний тракт комп'ютерної системи у СЗК, непозиційна кодова структура.

THE METHOD FOR REAL-TIME DATA CONTROL WITHIN THE SYSTEM OF RESIDUE CLASSES BASED ON THE CONSECUTIVE NULLIFICATION PRINCIPLE

V. A. Krasnobayev, S. A. Koshman, A. S. Yanko

The method for real-time data control within the system of residue classes (SRC), based on the consecutive nullification principle is considered. This method is implemented by applying a sequential procedure of nullification with next remainder of position-independent code structure. Main procedure of the method is the following: while it is selected nullification's constant $KH^{(i)}$ for the number $A^{(i)}$ for the residue's value $a_{i+1}^{(i)}$ for the base m_{i+1}, in the calculating path of a computer system in SRC, which is functioning on the base m_{i+2}, it can be formed the residue's value $a_{i+2}^{(i+1)}$ by which the next stage of nullification will be doing the next constant nullification's constant $KH^{(i+1)}$. The results of assessment and comparative analysis of testing time in SRC are presented.

Key words: system of residue classes (SRC), control method in SRC, principle of sequential nullification, non-positional code structure.

Краснобаев Виктор Анатольевич – д-р техн. наук, проф., проф. каф. электроники и управляющих систем, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Харьков, Украина, e-mail: krasno-baev_va@rambler.ru.

Кошман Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Харьков, Украина, e-mail: s_koshman@ukr.net.

Янко Алина Сергеевна – ассистент каф. компьютерной инженерии, Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, Полтава, Украина, e-mail: al9_yanko@ukr.net.

Viktor Krasnobayev – Doctor of Technical Science, Professor, Professor at the Dept. of Electronic and Control Systems, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkov, Ukraine, e-mail: krasnobaev_va@rambler.ru.

Sergey Koshman – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Automation and Computer Integrated Technologies, Kharkov National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko, Kharkov, Ukraine, e-mail: s_koshman@ukr.net.

Alina Yanko – Postgraduate at the Dept. of computer engineering of The Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine, e-mail: al9_yanko@ukr.net.