

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

КОШМАН СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 681.004.38

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТА
ДІАГНОСТИКИ ДАНИХ КОМПОНЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ
У ЗАЛИШКОВИХ КЛАСАХ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Краснобаєв Віктор Анатолійович,
Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, професор кафедри електроніки
та управляючих систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кривуля Геннадій Федорович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри автоматизації
проекування обчислювальної техніки;

доктор технічних наук, професор
Можасєв Олександр Олександрович,
Харківський національний університет внутрішніх
справ, професор кафедри інформаційних технологій
факультету №4;

доктор технічних наук, професор
Кучук Георгій Анатолійович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут", професор
кафедри обчислювальної техніки та програмування.

Захист відбудеться «24» травня 2019 року о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.051.29 Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за адресою: 61022, м. Харків, майдан Свободи, 6, ауд. 234.

З дисертацією можна ознайомитись у Центральній науковій бібліотеці Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за адресою: 61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.

Автореферат розісланий «04» квітня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Є. П. Колованова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Невід'ємною характеристикою розвитку прогресивного індустріального суспільства є використання та розробка нових передових інформаційних технологій, що будуються на масовому застосуванні комп'ютерних систем та компонентів. При цьому зростаюча складність і обсяги обчислювальних задач вимагають необхідності істотного підвищення швидкодії реалізації арифметичних операцій. Результати численних досліджень, що проводяться як в нашій країні, так і за кордоном, методів підвищення швидкодії комп'ютерних систем, привели фахівців в області обчислювальної техніки до висновку, що в межах позиційних систем числення (ПСС) кардинального підвищення швидкодії досягти неможливо. Це обумовлено, у першу чергу, неможливістю усунення у ПСС міжрозрядних зв'язків між числами, що оброблюються, при виконанні арифметичних операцій.

Ця обставина привела численну групу дослідників в області обчислювальної техніки звернутися до непозиційних систем числення. Зокрема, до системи залишкових класів (СЗК). Результати досліджень в області створення надшвидкодючих комп'ютерних систем та компонентів обробки цілочислових даних (КСКОЦД) відомих авторів таких як Валах М., Свобода А., Акушський І. Я., Юдицький Д. І., Долгов О. І., Ніколайчук Я. М., Глушков В. М., Торгашов В. А., Амербаев В. М., Коляда А. А., М. І., William Jenkins, Amos Omondi, Bin Yan та інших показали, що використання СЗК, як системи числення КСКОЦД, призначеної для реалізації цілочислових арифметичних операцій, істотно підвищує швидкість вирішення задач певного класу.

На сьогоднішній день вирішені основні теоретичні питання СЗК та розроблений її математичний апарат. Отримано ряд цікавих результатів не тільки в теоретичному плані, але і в практичному використанні СЗК. Спостерігається зростання інтересу до застосування СЗК у суміжних областях науки та техніки, що вимагають поряд зі швидкою обробкою інформації, ще й підвищення достовірності результату вирішення обчислювальних задач.

Однак, до теперішнього часу існує невирішена проблема побудови ефективної системи оперативного контролю та діагностики даних, що представлені у СЗК. Відсутність постановки та результатів вирішення цієї проблеми стримує широкі потенційні можливості швидкої обробки даних, що закладені у властивостях СЗК. Ця обставина породжує протиріччя між високою швидкістю реалізації цілочислових арифметичних операцій та низькою оперативністю контролю та діагностики даних. Це протиріччя обумовлено відсутністю теоретичних і практичних розробок ефективних методів контролю та діагностики даних компонентів комп'ютерної системи, що функціонують у СЗК. Результати аналізу сучасних тенденцій розвитку комп'ютерних систем та

компонентів у СЗК, підтверджують наявність такої конфліктної ситуації. З одного боку, між існуючою можливістю значного підвищення швидкодії виконання цілочислових арифметичних операцій, а з іншого боку, низькою оперативністю існуючих методів та засобів контролю та діагностики результатів обчислень, за рахунок значного часу реалізації зазначених процедур.

Таким чином, вирішення важливої *науково-технічної проблеми*, яка полягає у розробці методів оперативного контролю та діагностики даних компонентів комп'ютерної системи, що функціонують у залишкових класах, обумовлює актуальність теми дисертації. Результати вирішення проблеми дозволяють усунути існуюче протиріччя, а також сприяють подальшому розвитку теорії і практики СЗК. Це, в свою чергу, дозволяє розширити область ефективного використання СЗК, як системи числення комп'ютерних систем та компонентів обробки цілочислових даних.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводились відповідно до державних планів НДР, програм і договорів, які виконувались у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна та Харківському національному університеті сільського господарства імені Петра Василенка: "Концепція, принципи, методи та засоби створення швидкодіючих і надійних систем обробки даних у реальному часі на основі застосування непозиційної системи числення у класі лишків" (ДР № 0113U003306); "Аналіз, дослідження, розробка та стандартизація криптографічних систем для захисту інформації в пост-квантовому середовищі, в умовах інформаційних і гібридних війн" (ДР № 0118U002024); "Розробка математичних моделей і методів синтезу, формування та обробки сигнально-кодових конструкцій для захищених телекомунікаційних систем подвійного призначення" (ДР № 0117U004832); "Формулювання та розробка принципів, методів і засобів швидкої та достовірної обробки цілочисельних даних, що представлені у непозиційній системі числення залишкових класів в комп'ютерних системах та мережах подвійного призначення" (ДР № 0119U002546), у яких здобувач виступав виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення оперативності контролю та діагностики помилок даних, що представлені у системі залишкових класів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні часткові завдання:

1. Дослідження методів підвищення оперативності контролю та діагностики цілочислових даних, що представлені у системі залишкових класів, без зниження продуктивності обробки інформації;

2. Дослідження впливу властивостей системи залишкових класів на

структуру і процес функціонування компонентів комп'ютерної системи обробки цілочислових даних;

3. Дослідження коригувальних властивостей непозиційних кодових структур (НКС) у системі залишкових класів;

4. Розробка методу контролю даних у системі залишкових класів, що заснований на принципі паралельної нульовизації;

5. Розробка методу контролю даних у системі залишкових класів, що заснований на використанні позиційної ознаки непозиційної кодової структури;

6. Розробка методу підвищення достовірності оперативного контролю даних, що представлені у системі залишкових класів;

7. Вдосконалення методу визначення альтернативної сукупності непозиційних кодових структур у системі залишкових класів;

8. Вдосконалення методу оперативної діагностики даних, що представлені у системі залишкових класів.

Об'єкт дослідження – процеси контролю та діагностики помилок даних, що представлені у системі залишкових класів.

Предмет дослідження – методи та засоби оперативного контролю та діагностики цілочислових даних компонентів комп'ютерної системи, що функціонують у системі залишкових класів.

Методи дослідження. В основу проведених у роботі досліджень були покладені принципи системного аналізу, теорія чисел, теорія обчислювальних процесів та систем, а також теорія кодування у СЗК. При вирішенні першої та другої задач досліджень використовувались теорія обчислювальних процесів та систем, а також розділи теорія подільності і теорія порівнянь теорії чисел. При рішенні подальших задач досліджень використовувалась теорія завадостійкого кодування у СЗК.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що:

1. **Вперше** отримано метод контролю даних у системі залишкових класів, який на відміну від відомих, заснований на принципі паралельної нульовизації, шляхом поєднання у часі операцій нульовизації симетричних залишків непозиційної кодової структури, що контролюється і визначення констант нульовизації, що дозволяє підвищити оперативність контролю даних.

2. **Вперше** отримано метод контролю даних у системі залишкових класів, який на відміну від відомих, заснований на використанні позиційної ознаки непозиційної кодової структури, шляхом паралельного віднімання встановлених констант, що дозволяє підвищити оперативність контролю даних.

3. **Вперше** отримано метод підвищення достовірності оперативного контролю даних, що представлені у системі залишкових класів, який на відміну

від відомих, заснований на використанні позиційної ознаки непозиційної кодової структури, шляхом застосування відповідної основи, що кратна загальному модулю системи залишкових класів, це підвищує достовірність контролю даних.

4. **Вдосконалено** метод визначення альтернативної сукупності непозиційної кодової структури у системі залишкових класів, який заснований на використанні функції відповідності значень можливих помилок, шляхом зменшення кількості основ, що перевіряються, які входять в альтернативну сукупність чисел, що підвищує оперативність діагностики помилок даних.

5. **Вдосконалено** метод оперативної діагностики даних, що представлені у системі залишкових класів, який заснований на формуванні числових інтервалів та ознак даних квадрантів знаходження альтернативних сукупностей чисел, шляхом згортки таблиці відповідності значень можливих помилок, це зменшує час вибірки основ, що перевіряються та підвищує оперативність діагностики помилок даних.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Результати рішення сформульованої у дисертації важливої та актуальної науково-технічної проблеми можуть бути покладені в основу науково-методологічного апарату для практичного створення високопродуктивних комп'ютерних систем та компонентів обробки цілочислових даних (КСКОЦД), які функціонують у СЗК.

2. Розроблені та удосконалені у дисертаційній роботі методи контролю та діагностики помилок даних доцільно використовувати при створенні системи контролю та корекції помилок для перспективних КСКОЦД у СЗК.

3. Застосування запропонованих у дисертації методів оперативного контролю даних у СЗК, які засновані на використанні принципу нульовизації і позиційній ознаці непозиційної кодової структури, дозволяє на 25-60% (у порівнянні з існуючими методами контролю) скоротити час контролю, що підвищує оперативність процедури контролю.

4. Запропоновані методи оперативної діагностики даних у СЗК дозволяють до 30% (у порівнянні з існуючими методами діагностики) скоротити час , що підвищує оперативність процедури діагностики даних.

5. Розглянуті методи оперативного виправлення помилок даних у СЗК сприяли розробці засобів, які на відміну від існуючих, дозволяють у ρ раз підвищити оперативність корекції помилок у СЗК. Де ρ – кількість можливих залишків НКС, в яких сталися помилки.

6. На підставі запропонованих методів обробки даних у дисертації розроблені алгоритми для їх реалізації у відповідності, з якими синтезовані засоби обробки даних у СЗК у вигляді пристроїв, на які отримано 22 патенту України. Це підтверджує актуальність, новизну та практичну значущість отриманих у

дисертації результатів.

Результати наукових досліджень впроваджено у приватне акційне товариство "Інститут інформаційних технологій", м. Харків, акт впровадження від 16.06.2017 р., на кафедрі безпеки інформаційних систем і технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна при виконанні НДР "Розробка математичних моделей та методів синтезу, формування та обробка сигнально-кодових конструкцій для захищених телекомунікаційних систем подвійного призначення" (ДР № 0117U004832, 2018 р.), акт впровадження від 05.09.2018 р., на кафедрі безпеки інформаційних систем і технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна при виконанні НДР "Аналіз, дослідження, розробка та стандартизація криптографічних систем для захисту інформації в пост-квантовому середовищі, в умовах інформаційних і гібридних війн" (ДР № 0118U002024, 2018 р.), акт впровадження від 05.09.2018 р., а також в навчальний процес кафедри безпеки інформаційних систем і технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна в дисципліну "Математичні основи проектування та оптимізації інформаційно-комутаційних систем", акт впровадження від 22.06.2018 р., в навчальний процес кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка в дисципліну "Мікропроцесорні керуючі пристрої", акт впровадження від 21.02.2017 р.

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковані у 71 друкованій роботі, з яких 3 колективні монографії, 37 наукових статей (у тому числі з них 26 статей у наукових фахових виданнях України, 3 статті включені у міжнародну наукометричну базу "Scopus"), 22 патенти України, 9 тез доповідей на фахових вітчизняних і міжнародних науково-технічних конференціях (2 з яких включені у міжнародну наукометричну базу "Scopus").

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методів оперативного контролю та діагностики даних компонентів комп'ютерної системи, що функціонують у системі залишкових класів, що дозволяє усунути протиріччя між високою швидкістю реалізації цілочислових арифметичних операцій та низькою оперативністю контролю та діагностики даних.

Використання результатів вирішення протиріччя сприятиме подальшому розвитку теорії і практики кодування у СЗК. Це, у свою чергу, дозволяє розширити область ефективного використання СЗК в якості системи числення комп'ютерних систем і компонентів обробки цілочислових даних.

Аналіз та систематизація теоретичних і практичних відомостей та результатів за темою дисертації, формулювання наукового напрямку, вибір об'єктів та постановка наукових завдань дисертаційної роботи виконано

дисертантом особисто. Розробку методів та засобів оперативного контролю та діагностики даних, що представлені у СЗК, а також проведення порівняльного аналізу дисертант виконував самостійно.

Обговорення основних положень дисертаційної роботи виконано спільно з науковим консультантом д.т.н., професором Краснобаєвим (Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна).

Результати дисертаційної роботи повністю відображено в публікаціях.

Всі співавтори згодні із внеском здобувача. Робота не містить плагіату та запозичень. У докторській дисертації не містяться результати кандидатської дисертації.

Апробація результатів. Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень доповідалися і обговорювалися та були схвалені на міжнародних науково-технічних семінарах, науково технічних конференціях і форумах: Міжнародних науково-практичних конференціях "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" (м. Харків, 2010 – 2012 р.р.), 25-й міжнародній конференції "Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железных дорог Украины" (м. Алушта, Крим, 2012 р.), десятій науковій конференції "Новітні технології – для захисту повітряного простору" (м. Харків, Україна, 2014 р.), другій та третій міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми інформації" (м. Полтава, Україна, 2014, 2015 р.р.), четвертій, п'ятій, сьомій міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління" (м. Полтава, Україна, 2014, 2015, 2017 р.р.).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Повний обсяг дисертації складає 360 сторінок (14,7 д.а.). Робота ілюстрована 36 таблицями та 30 рисунками. Список використаних літературних джерел містить 181 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертації обґрунтовано актуальність проблеми, сформульована мета роботи, дано стисло анотацію отриманих результатів, відзначено їх наукову новизну та практичне значення.

У **першому розділі** вирішено перше завдання досліджень. Досліджено методи підвищення оперативності контролю та діагностики цілочислових даних, що представлені у системі залишкових класів, без зниження продуктивності обробки інформації. Проведений аналіз непозиційних КСКОЦД показав, що їх структура наближається до високої міри однорідності, що дає змогу забезпечити незалежну і паралельну обробку кожного розряду числа. З урахуванням малої

розрядності оброблюваних операндів КСКОЦД у СЗК може бути виконана у вигляді набору таблиць для реалізації ряду основних модульних операцій.

Однак, існуючи методи оперативного контролю та діагностики цілочислових даних не завжди задовольняють вимогам щодо забезпечення високої оперативності. Значний час контролю та діагности даних позбавляє КСКОЦД у СЗК переваги у швидкій реалізації процесу обробки даних.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [3, 4, 6-8, 11-13, 22-24, 38].

У **другому розділі** вирішено друге завдання досліджень. Досліджено вплив властивостей СЗК на структуру і процес функціонування КСКОЦД.

Аналіз властивостей СЗК (незалежність, рівноправність та малорозрядність залишків) показав, що узагальнена структурна схема КСКОЦД у СЗК представляє собою набір окремих мікро-ЕОМ, що функціонують незалежно один від одного та паралельно у часі, причому кожна за своєю визначеною основою m_i .

На підставі зазначених властивостей, узагальнені принципи технічної реалізації основних арифметичних операцій: суматорний, принцип кільцевого зсуву і табличний принцип. З урахуванням даних принципів розглянуто методи і алгоритми технічної реалізації модульних арифметичних операцій, результати яких, в подальшому, необхідно контролювати, діагностувати та коригувати.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [10, 17, 26, 36, 43, 47, 50-55].

У **третьому розділі** вирішено третє завдання досліджень. Досліджено коригувальні властивостей НКС у СЗК. Показано, що у СЗК інформаційна і контрольна частини рівноправні щодо реалізації будь-якої арифметичної операції. У цьому аспекті виникає можливість побудови НКС, що виявляють і виправляють помилки даних, що представлені у СЗК.

Коригувальні коди, у СЗК можуть мати будь-які значення мінімальної кодової відстані (МКВ) $d_{\min}^{(C3K)}$. Коригувальний код, має значення $d_{\min}^{(C3K)}$ МКВ у тому випадку, якщо ступінь R надмірності не менше добутку будь-яких $d_{\min}^{(C3K)} - 1$

основ СЗК. З одного боку маємо, що $R \geq \prod_{i=1}^{d_{\min}^{(C3K)} - 1} m_{q_i}$, а з іншого боку –

$R = M_0 / M = \prod_{i=1}^{n+k} m_i / \prod_{i=1}^n m_i = \prod_{i=1}^k m_{n+i}$. У цьому випадку, можливо стверджувати, що $d_{\min}^{(C3K)} - 1 = k$ або

$$d_{\min}^{(C3K)} = k + 1. \quad (1)$$

При цьому кількість помилок, що виявляються визначається за формулами (2), а кількість помилок, що виправляються визначається за формулами (3).

$$t_{\text{виявл.}} \leq d_{\min}^{(C3K)} - 1; t_{\text{виправл.}} \leq k. \quad (2)$$

$$t_{\text{випр.}} \leq \left\lceil \frac{d_{\min}^{(C3K)} - 1}{2} \right\rceil, t_{\text{випр.}} \leq \left\lceil \frac{k}{2} \right\rceil. \quad (3)$$

Збільшити значення $d_{\min}^{(C3K)}$ можна також за рахунок зменшення числа n інформаційних основ, тобто за рахунок переходу до обчислень з меншою точністю. Вочевидь, що між коригувальними можливостями завадостійких кодів R і точністю W обчислень у СЗК існує обернено пропорційна залежність.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [1, 9, 18, 56, 62, 69, 71].

У **четвертому розділі** вирішені четверте, п'яте та шосте завдання досліджень і отримано перший, другий і третій наукові результати.

На основі аналізу існуючих методів контролю даних заснованих на принципі нульовизації (послідовної нульовизації (Н1), послідовної нульовизації з визначенням подальшого залишку (Н2), паралельного віднімання (Н3)), показано, що істотним недоліком розглянутих методів (Н1-Н3) контролю даних у СЗК, є необхідність значних витрат часу, що зумовлює низьку оперативність контролю і значні непродуктивні обчислювальні витрати. До того ж, ці методи не вичерпують можливості підвищення швидкодії реалізації процедури нульовизації чисел. З метою підвищення оперативності контролю даних, за рахунок зменшення часу реалізації процедури нульовизації, у роботі розроблено метод паралельної нульовизації з визначенням подальших залишків (Н4) (ПНН ВПЗ). Цей метод контролю ґрунтується на процедурі використання парної нульовизації чисел з додатковою операцією попередньої вибірки залишків.

Суть методу контролю полягає у тому, що попередня вибірка проводиться одночасно по двох залишках $a_{i+1}^{(i)}$ та $a_{n-i}^{(i)}$ числа $A^{(i)} = \overbrace{[0 \| 0 \| \dots \| 0 \| a_{i+1}^{(i)} \| a_{i+2}^{(i)} \| \dots \| a_{n-i-1}^{(i)} \| a_{n-i}^{(i)} \| 0 \| \dots \| 0 \| 0 \| a_{n+1}^{(i)}]}$. Таким чином, при реалізації процедури нульовизації поєднуються у часі операція вибору, по залишках $a_{i+1}^{(i)}$ і $a_{n-i}^{(i)}$ числа $A^{(i)} = [0 \| 0 \| \dots \| 0 \| a_{i+1}^{(i)} \| a_{i+2}^{(i)} \| a_{i+3}^{(i)} \| \dots \| a_{n-i-2}^{(i)} \| a_{n-i-1}^{(i)} \| a_{n-i}^{(i)} \| 0 \| \dots \| 0 \| a_{n+1}^{(i)}]$ константи нульовизації $KH^{(i)} = [0 \| 0 \| \dots \| 0 \| t_{i+1}^{(i)} \| t_{i+2}^{(i)} \| t_{i+3}^{(i)} \| \dots \| t_{n-i-2}^{(i)} \| t_{n-i-1}^{(i)} \| t_{n-i}^{(i)} \| 0 \| \dots \| 0 \| t_{n+1}^{(i)}]$ і операція визначення, по значеннях залишків $a_{i+1}^{(i)}$ та $a_{n-i}^{(i)}$, подальших значень залишків $a_{i+2}^{(i+1)}$ та $a_{n-i-1}^{(i+1)}$ числа $A^{(i+1)} = [0 \| 0 \| \dots \| 0 \| 0 \| a_{i+2}^{(i+1)} \| a_{i+3}^{(i+1)} \| \dots \| a_{n-i-2}^{(i+1)} \| a_{n-i-1}^{(i+1)} \| 0 \| \dots \| 0 \| 0 \| a_{n+1}^{(i+1)}]$.

Також поєднуються у часі операція віднімання $A^{(i+1)} = A^{(i)} - KH^{(i)}$ та операція вибору чергової константи нульовизації $KH^{(i+1)} = [0 \| 0 \| 0 \| \dots \| 0 \| 0 \| t_{i+2}^{(i+1)} \| \dots \| t_{n-i-2}^{(i+1)} \| t_{n-i-1}^{(i+1)} \| 0 \| 0 \| t_{n+1}^{(i+1)}]$. Значення величин Δa_{i+2} та Δa_{n-i-1} , які будуть відніматись з відповідних значень $a_{i+2}^{(i)}$ та $a_{n-i-1}^{(i)}$, щоб отримати значення залишків,

$a_{i+2}^{(i+1)}$ та $a_{n-i-1}^{(i+1)}$, визначаються тільки значеннями відповідних залишків числа $a_{i+1}^{(i)}$ та $a_{n-i}^{(i)}$. Аналітично це можна представити у вигляді наступних двох виразів

$$a_{i+2}^{(i+1)} = [a_{i+2}^{(i)} - \Delta a_{i+2}] \bmod m_{i+2}$$

$$\text{та } a_{n-i-1}^{(i+1)} = [a_{n-i-1}^{(i)} - \Delta a_{n-i-1}] \bmod m_{n-i-1}.$$

У процесі вибірки $KH^{(i)}$ по значеннях залишків $a_{i+1}^{(i)}$ та $a_{n-i}^{(i)}$ числа $A^{(i)}$, ці залишки будуть передані до обчислювача по відповідним основам m_{i+2} та m_{n-i-1} . З двохідних таблиць $F_1 \{a_{i+2}^{(i+1)}\} = [a_{i+1}^{(i)}; a_{i+2}^{(i)}]$ та $F_2 \{a_{n-i-1}^{(i+1)}\} = [a_{n-1}^{(i)}; a_{n-i-1}^{(i)}]$ вибираються значення $a_{i+2}^{(i+1)}$ та $a_{n-i-1}^{(i+1)}$. У цьому випадку загальна кількість тактів, що вільні від додавання, під час яких робитися звернення у блок констант нульовизації (БКН) та утворення чергової адреси, дорівнює значенню $[(n+1)/2]$, (де $[X]$ – ціле, найбільш найближче до X число, але таке, що його не перевершує). При цьому нульовизація проводиться одночасно по двох інформаційних основах СЗК $a_1, a_n; a_2, a_{n-1}$ і так далі. Після кожних двох віднімань потрібно ще один додатковий часовий такт для утворення чергової адреси і звернення до накопичувача констант нульовизації. У зв'язку з цим на кожні два такти віднімання доводиться один такт вільний від операції віднімання.

На рис 1. представлено розроблений метод. Алгоритм процесу нульовизації представлено у табл. 1.

На основі вищевикладеного час виконання операції нульовизації для розглянутого методу оперативного контролю (Н4) визначиться таким чином:

$$T_{H4} = \left[\frac{n+1}{2} \right] \cdot \tau_{\text{дод.}} + \left[\frac{\frac{n+1}{2} + 1}{2} \right] \cdot \tau_{\text{виб.}}, \quad (4)$$

де n – кількість інформаційних основ СЗК;

$\tau_{\text{дод.}}$ – час реалізації операцій логічного додавання (елементу АБО) константи нульовизації $KH^{(i)}$ до числа $A^{(i)}$;

$\tau_{\text{виб.}}$ – час вибору константи нульовизації $KH^{(i)}$.

При реалізації БКН у табличному варіанті можна вважати, що практично $\tau_{\text{дод.}} = \tau_{\text{виб.}}$, тоді вираз (4) можна записати у вигляді (5):

$$T_{H4} = \left(\left[\frac{n+1}{2} \right] + \left[\frac{\frac{n+1}{2} + 1}{2} \right] \right) \cdot \tau_{\text{дод.}}. \quad (5)$$

Для проведення розрахунку і порівняльного аналізу методів контролю даних у СЗК необхідно враховувати кількісні значення показників, що характеризують цей метод. Виведені вирази, що представлені у табл. 2, є робочими формулами для оцінки швидкодії реалізації процедури нульовизації

залежно від величин значень n та $\tau_{\text{од.}}$, а також для оцінки кількості обладнання БК.

№ такту	Зміст операції	
1	Звернення по значеннях залишків $a_1^{(0)}$ та $a_n^{(0)}$ числа $A = A^{(0)} = [a_1^{(0)} \parallel a_2^{(0)} \parallel \dots \parallel a_i^{(0)} \parallel \dots \parallel a_n^{(0)} \parallel a_{n+1}^{(0)}]$ у БКН ₀ за константою нульовизації $KH^{(0)} = [t_1^{(0)} \parallel t_2^{(0)} \parallel \dots \parallel t_i^{(0)} \parallel \dots \parallel t_n^{(0)} \parallel t_{n+1}^{(0)}]$; $t_1^{(0)} = a_1^{(0)}$, $t_n^{(0)} = a_n^{(0)}$; $t_1^{(0)} = 0, m_1 - 1$, $t_n^{(0)} = 0, m_n - 1$.	Утворення значень залишків $a_2^{(1)}$ і $a_{n-1}^{(1)}$ числа $A^{(1)} = [0 \parallel a_2^{(1)} \parallel \dots \parallel a_i^{(1)} \parallel \dots \parallel a_{n-1}^{(1)} \parallel 0 \parallel a_{n+1}^{(1)}]$ у вигляді $a_2^{(1)} = t_2^{(1)} = [a_2^{(0)} - a_1^{(0)}] \bmod m_2$ і $a_{n-1}^{(1)} = t_{n-1}^{(1)} = [a_{n-1}^{(0)} - a_n^{(0)}] \bmod m_{n-1}$.
2	Виконання операції віднімання $A^{(1)} = A^{(0)} - KH^{(0)} = \{[a_1^{(0)} - t_1^{(0)}] \bmod m_1 \parallel [a_2^{(0)} - t_2^{(0)}] \bmod m_2 \parallel \dots \parallel [a_i^{(0)} - t_i^{(0)}] \bmod m_i \parallel \dots \parallel [a_n^{(0)} - t_n^{(0)}] \bmod m_n \parallel [a_{n+1}^{(0)} - t_{n+1}^{(0)}] \bmod m_{n+1}\} = [0 \parallel a_2^{(1)} \parallel \dots \parallel a_i^{(1)} \parallel \dots \parallel a_{n-1}^{(1)} \parallel 0 \parallel a_{n+1}^{(1)}]$.	Звернення по значеннях залишків $a_2^{(1)}$ та $a_{n-1}^{(1)}$ числа $A^{(1)}$ у БКН ₁ за константою нульовизації $KH^{(1)}$, при цьому $t_2^{(1)} = a_2^{(1)}$, $t_{n-1}^{(1)} = a_{n-1}^{(1)}$; $t_2^{(1)} = 0, m_2 - 1$, $t_{n-1}^{(1)} = 0, m_{n-1} - 1$.
3	Виконання операції віднімання $A^{(2)} = A^{(1)} - KH^{(1)} = [0 \parallel 0 \parallel a_3^{(2)} \parallel a_4^{(2)} \parallel \dots \parallel a_{i-1}^{(2)} \parallel a_i^{(2)} \parallel a_{i+1}^{(2)} \parallel \dots \parallel a_{n-3}^{(2)} \parallel a_{n-2}^{(2)} \parallel 0 \parallel 0 \parallel a_{n+1}^{(2)}]$.	Утворення значень залишків $a_3^{(2)} = t_3^{(2)} = [a_3^{(1)} - a_2^{(1)}] \bmod m_3$ і $a_{n-2}^{(2)} = t_{n-2}^{(2)} = [a_{n-2}^{(1)} - a_{n-1}^{(1)}] \bmod m_{n-2}$ числа $A^{(2)}$.
⋮	⋯	⋯
$k-2$	Звернення по значеннях залишків $a_{n/2-1}^{(n/2-2)}$ і $a_{n/2+2}^{(n/2-2)}$ числа $A^{(n/2-2)}$ у БКН _{$n/2-2$} за константою нульовизації $KH^{(n/2-2)}$; $t_{n/2-1}^{(n/2-1)} = a_{n/2-1}^{(n/2-2)}$, $t_{n/2+2}^{(n/2-2)} = a_{n/2+2}^{(n/2-2)}$; $t_{n/2-1}^{(n/2-2)} = 0, m_{n/2-1} - 1$, $t_{n/2+2}^{(n/2-2)} = 0, m_{n/2+2} - 1$.	Утворення значень залишків $a_{n/2}^{(n/2-1)} = t_{n/2}^{(n/2-1)} = [a_{n/2}^{(n/2-2)} - a_{n/2-1}^{(n/2-2)}] \bmod m_{n/2}$ і $a_{n/2+1}^{(n/2-1)} = t_{n/2+1}^{(n/2-1)} = [a_{n/2+1}^{(n/2-2)} - a_{n/2}^{(n/2-2)}] \bmod m_{n/2+1}$ числа $A^{(n/2-1)}$.

Рис. 1 Метод паралельної нульовизації з визначенням подальших залишків

$k-1$	Виконання операції віднімання $A^{(n/2-1)} = A^{(n/2-2)} - KH^{(n/2-2)} =$ $= [0 \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel a_{n/2}^{(n/2-1)} \parallel$ $\parallel a_{n/2+1}^{(n/2-1)} \parallel 0 \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel 0 \parallel a_{n+1}^{(n/2-1)}]$.	Звернення по значеннях залишків $a_{n/2}^{(n/2-1)}$ і $a_{n/2+1}^{(n/2-1)}$ числа $A^{(n/2-1)}$; у $BKH_{n/2-1}$ за константою нульовизації $KH^{(n/2-1)}$; $t_{n/2}^{(n/2-1)} = a_{n/2}^{(n/2-1)}$, $t_{n/2+1}^{(n/2-1)} = a_{n/2+1}^{(n/2-1)}$.
k	Отримання нульовизованого $A^{(H)}$ числа. Виконання операції $A^{(H)} = A^{(n/2-1)} - KH^{(n/2-1)} = [0 \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel 0 \parallel (\gamma_{n+1} = a_{n+1}^{(n/2)})]$.	
$T_{H4} = \left(\left[\frac{n+1}{2} \right] + \left[\frac{\frac{n+1}{2} + 1}{2} \right] \right) \cdot \tau_{ca}$		

Рис. 1, аркуш 2

У табл. 3 представлено сукупність основ СЗК для l -байтових ($l = \overline{1 \div 8}$) розрядних сіток обчислювача. На основі даних табл. 3, у табл. 4 представлені результати розрахунку кількісних оцінок методів контролю даних для l -байтових ($l = \overline{1 \div 8}$) розрядних сіток обчислювача у СЗК.

На основі табл. 4 складемо табл. 5 даних порівняльного аналізу ефективності застосування методу оперативного контролю ПНН ВПЗ, порівняно з існуючими методами контролю у СЗК за швидкістю реалізації процедури нульовизації.

Коефіцієнт K_{Hi} ефективності використання методу контролю ПНН ВПЗ, порівняно з існуючими методами нульовизації, визначається співвідношенням:

$$K_{Hi} = \frac{T_{H1} - T_{Hi}}{T_{H1}} \cdot 100\%, \quad (i = \overline{1, 3}).$$

З табл. 5 видно висока ефективність методу оперативного контролю ($H4$), заснованого на реалізації процедури паралельної нульовизації з визначенням подальших залишків. Так, для 8-байтового розрядного слова, ефективність використання розробленого методу складає від 25 до 62%.

У відповідності до поставлених часткових завдань, розроблено метод оперативного контролю даних у СЗК, що заснований на використанні позиційної ознаки непозиційної кодової структури (ПОНКС). Ґрунтуючись на вище зазначених результатах, слід зазначити, що для визначення тільки факту спотворення числа A , немає необхідності мати і аналізувати усю послідовність N сукупності значень $Z_{K_A}^{(A)}$ однорядкового коду (ОК) $K_N^{(n_A)} = \{Z_{N-1}^{(A)} Z_{N-1}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$. Для цього досить мати ОК $K_{N_i}^{(n_A)}$ завдовжки усього $N_i = \lfloor M / m_i \rfloor$ двійкових

розрядів (де значення $\lceil M / m_i \rceil$ означає цілу частину числа M / m_i , його не меншу; тобто робиться округлення числа M / m_i до найближчого цілого у більшу сторону).

Тобто, при проведенні процедури контролю, для встановлення факту правильності або неправильності числа $A = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$, немає необхідності аналізувати всі числові інтервали $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$, де знаходиться спотворене число, що розташоване поза інформаційним інтервалом $[0, M)$.

Таблиця 1

Алгоритм реалізації процедури паралельної нульовизації з визначенням подальших залишків (Н4)

№ п.п.	Зміст операції	
1	Звернення по значеннях залишків $a_1^{(0)}$ та $a_n^{(0)}$ числа $A^{(0)}$ у BKH_0 за $KH^{(0)}$.	Утворення значень залишків $a_2^{(1)}$ та $a_{n-1}^{(1)}$ числа $A^{(1)}$ у вигляді $a_2^{(1)} = t_2^{(1)} = [a_2^{(0)} - a_1^{(0)}] \bmod m_2$ та $a_{n-1}^{(1)} = t_{n-1}^{(1)} = [a_{n-1}^{(0)} - a_n^{(0)}] \bmod m_{n-1}$.
2	Виконання операції віднімання $A^{(1)} = A^{(0)} - KH^{(0)}$.	Звернення по значеннях залишків $a_2^{(1)}$ та $a_{n-1}^{(1)}$ числа $A^{(1)}$ у BKH_1 за $KH^{(1)}$.
3	Виконання операції віднімання $A^{(2)} = A^{(1)} - KH^{(1)}$.	Утворення значень залишків $a_3^{(2)}$ та $a_{n-2}^{(2)}$ числа $A^{(2)}$ у вигляді $a_3^{(2)} = t_3^{(2)} = [a_3^{(1)} - a_2^{(1)}] \bmod m_3$ та $a_{n-2}^{(2)} = t_{n-2}^{(2)} = [a_{n-2}^{(1)} - a_{n-1}^{(1)}] \bmod m_{n-2}$.
⋮
i	Виконання операції віднімання $A^{(i)} = A^{(i-1)} - KH^{(i-1)}$.	Звернення по значеннях залишків $a_{i+1}^{(i)}$ та $a_{n-i}^{(i)}$ числа $A^{(i)}$ у BKH_i за $KH^{(i)}$.
$i+1$	Виконання операції віднімання $A^{(i+1)} = A^{(i)} - KH^{(i)}$.	Утворення значень залишків $a_{i+2}^{(i+1)}$ та $a_{n-i-1}^{(i+1)}$ числа $A^{(i+1)}$ у вигляді $a_{i+2}^{(i+1)} = t_{i+2}^{(i+1)} = [a_{i+2}^{(i)} - a_{i+1}^{(i)}] \bmod m_{i+2}$ та $a_{n-i-1}^{(i+1)} = t_{n-i-1}^{(i+1)} = [a_{n-i-1}^{(i)} - a_{n-i-2}^{(i)}] \bmod m_{n-i-1}$.
$i+2$	Звернення по значеннях залишків $a_{i+2}^{(i+1)}$ та $a_{n-i-1}^{(i+1)}$ числа $A^{(i+1)}$ у BKH_{i+1} за $KH^{(i+1)}$.	Утворення значень залишків $a_{i+3}^{(i+2)}$ та $a_{n-i-2}^{(i+2)}$ числа $A^{(i+2)}$ у вигляді $a_{i+3}^{(i+2)} = t_{i+3}^{(i+2)} = [a_{i+3}^{(i+1)} - a_{i+2}^{(i+1)}] \bmod m_{i+3}$ та $a_{n-i-2}^{(i+2)} = t_{n-i-2}^{(i+2)} = [a_{n-i-2}^{(i+1)} - a_{n-i-3}^{(i+1)}] \bmod m_{n-i-2}$.
⋮
$k-1$	Виконання операції віднімання $A^{(n/2-1)} = A^{(n/2-2)} - KH^{(n/2-2)}$	Звернення по значеннях залишків $a_{n/2+1}^{(n/2-1)}$ та $a_{n/2}^{(n/2-1)}$ числа $A^{(n/2-1)}$ у $BKH_{n/2-1}$ за $KH^{(n/2-1)}$.
k	Виконання операції віднімання $A^{(n/2)} = A^{(n/2-1)} - KH^{(n/2-1)}$. Отримання нульовизованого числа $A^{(H)} = A^{(n/2)} = [0 \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel 0 \parallel \gamma_{n+1} = a_{n+1}^{(n/2)}]$.	

Таблиця 2

Основні характеристики методів контролю даних у СЗК

Методи контролю даних H_i		Час нульовизації T_{Hi}	Кількість констант нульовизації K_{Hi}
H_1	Метод послідовної нульовизації	$T_{H1} = 2 \cdot n \cdot \tau_{\text{доод.}}$	$K_{H1} = \sum_{i=1}^n (m_i - 1)$
H_2	Метод послідовної нульовизації з визначенням подальшого залишку	$T_{H2} = \left(\left[\frac{n-1}{2} \right] + n \right) \cdot \tau_{\text{доод.}}$	$K_{H2} = \sum_{i=1}^{n-1} (m_i - 1)$
H_3	Метод паралельної нульовизації	$T_{H3} = n \cdot \tau_{\text{доод.}}$	$K_{H3} = \sum_{i=1}^{\left[\frac{n}{2} \right]} (m_i \cdot m_{n-i+1} - 1)$
H_4	Метод паралельної нульовизації з визначенням подальших залишків	$T_{H4} = \left(\left[\frac{n+1}{2} \right] + \left[\frac{\left[\frac{n+1}{2} \right]}{2} \right] \right) \tau_{\text{доод.}}$	$K_{H4} = \sum_{i=1}^{\left[\frac{n}{2} \right]} (m_i \cdot m_{n-i+1} - 2)$

Таблиця 3

Сукупність основ СЗК для l -байтових ($l = \overline{1 \div 8}$) розрядних сіток обчислювача

Величина розрядної сітки $l(n)$	Інформаційні основи СЗК $\{m_i\}, i = \overline{1, n}$	Контрольна основа СЗК m_{n+1}
1(4)	$m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7$	$m_5 = 11$
2(6)	$m_1 = 2, m_2 = 5, m_3 = 7, m_4 = 9, m_5 = 11, m_6 = 13$	$m_7 = 17$
3(8)	$m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7, m_5 = 11, m_6 = 13, m_7 = 17, m_8 = 19$	$m_9 = 23$
4(10)	$m_1 = 2, m_2 = 3, m_3 = 5, m_4 = 7, m_5 = 11, m_6 = 13, m_7 = 17, m_8 = 19, m_9 = 23, m_{10} = 29$	$m_{11} = 31$
8(16)	$m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7, m_5 = 11, m_6 = 13, m_7 = 17, m_8 = 19, m_9 = 23, m_{10} = 29, m_{11} = 31, m_{12} = 37, m_{13} = 41, m_{14} = 43, m_{15} = 47, m_{16} = 53$	$m_{17} = 59$

Таблиця 4

Розрахункові дані кількісних оцінок методів контролю даних у СЗК для l -байтових ($l = \overline{1 \div 8}$) розрядних сіток

$l(n)$	H1		H2		H3		H4	
	$\frac{T_{H1}}{\tau_{cl}}$	K_{H1}	$\frac{T_{H2}}{\tau_{cl}}$	K_{H2}	$\frac{T_{H3}}{\tau_{cl}}$	K_{H3}	$\frac{T_{H4}}{\tau_{cl}}$	K_{H4}
1 (4)	8	15	5	9	4	39	3	37
2 (6)	12	41	8	29	6	141	4	138
3 (8)	16	71	11	53	8	263	6	259
4 (10)	20	119	14	91	10	479	7	474
8 (16)	32	367	23	315	16	2581	12	2573

Таблиця 5

Дані порівняльного аналізу часу контролю даних у СЗК

n	$T_{Hi} = T/\tau$				Виграш в [%]		
	T_{H1}	T_{H2}	T_{H3}	T_{H4}	K_{H1}	K_{H2}	K_{H3}
4	8	5	4	3	62	40	25
6	12	8	6	4	66	55	33
8	16	11	8	6	62	45	25
10	20	14	10	7	65	53	30
16	32	23	16	12	62	47	25

Для контролю НКС A у СЗК досить знати місце розташування нуля у записі $K_N^{(n_A)} = \{Z_{N-1}^{(A)} Z_{N-2}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$ ОК (знати чисельне значення ПОНКС– n_A) тільки у числових інтервалах $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$, що лежать в інформаційному числовому інтервалі $0 \div M$ та у першому, що розташований після значення M інтервалі, який розташований на відрізку $0 \div M_0$ (рис. 2). Як видно, для контролю даних $A = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$ досить мати ОК $K_{N_i}^{(n_A)}$ завдовжки усього $N_i = \lceil M / m_i \rceil$ двійкових розрядів.

Розроблений метод контролю даних у СЗК представлений на рис. 3. Суть якого полягає у наступному. Для заданої НКС у СЗК $A = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$, що контролюється, визначається ПОНКС n_A шляхом формування ОК $K_{N_i}^{(n_A)} = \{Z_{N_i-1}^{(A)} Z_{N_i-2}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$ у вигляді послідовності з N_i двійкових розрядів. Виходячи зі значення залишку a_i числа $A = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$, вибирається константа нульовизації виду $KH_{m_i}^{(A)} = (a'_1 \parallel a'_2 \parallel \dots \parallel a'_{i-1} \parallel a_i \parallel a'_{i+1} \parallel \dots \parallel a'_n \parallel a'_{n+1})$. Далі проводиться реалізація

операції $A_{m_i} = A - KH_{m_i}^{(A)}$.

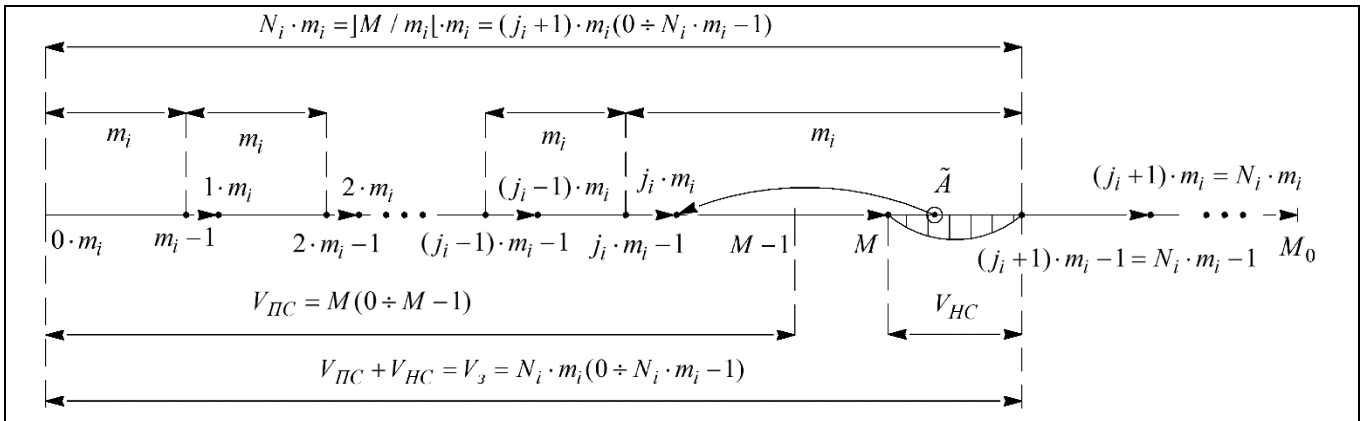


Рис. 2 Схема контролю даних у СЗК для довільного значення модуля m_i

Використовуючи N_i констант $K_A \cdot m_i$ ($K_A = \overline{0, N_i - 1}$), одночасно проводяться операції віднімання $A_{m_i} - K_A \cdot m_i$, у результаті яких, утворюється значення двійкових розрядів $Z_{K_A}^{(A)}$, тобто формується ОК $K_{N_i}^{(n_A)}$. Значення ПОНКС n_A визначається з рівності $A_{m_i} - n_A \cdot m_i = 0$.

1	Визначення ОК $K_{N_i}^{(n_A)} = \{Z_{N_i-1}^{(A)} Z_{N_i-2}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$ числа $A = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$.
2	Визначення ПОНКС 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	Проведення процедури контролю даних $A = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$ у СЗК. Якщо $n_A > N_i$, то число \tilde{A} неправильне (спотворене). Якщо $n_A \leq N_i$, то число A правильне (неспотворене).

Рис. 3 Метод контролю даних у СЗК

Процедура контролю числа A полягає у наступному. Якщо $n_A > N_i$, то вважається, що число A – неправильне. У протилежному випадку ($n_A \leq N_i$) число A – правильне.

Таким чином, за рахунок одночасного і паралельного проведення операції віднімання констант, в $\approx N_i$ раз зменшується час визначення значення ПОНКС n_A . Ця обставина дозволяє підвищити оперативність контролю даних, у порівнянні з існуючими методами, до 60 %.

Розрахунок часу контролю даних для розробленого методу проведемо

згідно з виразом (6):

$$T_{к\text{ П}О} = t_{\text{в}и\text{б}} + t_{\Sigma 1} + t_{\Sigma 2} + t_{n_A} + t_n, \quad (6)$$

де $t_{\Sigma 1}$ – час визначення значення $A_{m_i} = A - KH_{m_i}^{(A)}$;

$t_{\Sigma 2}$ – час реалізації операції $A_{m_i} - n_A \cdot m_i$, тобто час, який потрібний для визначення ОК виду $K_{N_i}^{(n_A)} = \{Z_{N_i-1}^{(A)} Z_{N_i-2}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$;

t_{n_A} – час визначення ПОНКС (n_A);

t_n – час перевірки умови $n_A \leq N_i$.

З урахуванням того, що арифметичні операції додавання, віднімання і множення у СЗК, реалізовані на основі табличного принципу, виконуються за один часовий t такт функціонування, то час підсумовування буде дорівнювати $t_{\Sigma 1} = t_{\Sigma 2} = t$. Час $t_{\text{в}и\text{б}}$. вибірки константи $KH_{m_i}^{(A)}$ з БКН проводиться також за один часовий t такт, і буде дорівнювати $t_{\text{в}и\text{б}} \approx \tau_{\text{дод.}} = \tau_{\text{множ.}} = t$, де $\tau_{\text{множ.}}$ – час реалізації операції логічного множення (елементу I). Оскільки процес аналізу ОК на наявність нуля в його записі реалізується за допомогою багатовхідного логічного елемента I, то $t_{n_A} = t = \tau_I$. Час перевірки умови $n_A \leq N_i$ можна визначити за чотири часові машинні такти, тоді $t_n = 4t$. Для проведення порівняльного аналізу оперативності контролю зручно скористатися величиною $\tau = 2 \cdot t$, де τ – умовний часовий такт обробки даних. У цьому випадку час контролю НКС, для описаного методу, визначиться як:

$$T_{к\text{ П}О} = \tau / 2 + \tau / 2 + \tau / 2 + \tau / 2 + 2\tau = 4\tau.$$

Таким чином, використання розробленого методу контролю даних, дозволяє провести процес контролю НКС за 4τ умовних часових тактів незалежно від величини l розрядної сітки КСКЦОД.

У табл. 6 представлені дані порівняльного аналізу часу контролю даних у СЗК для методу, заснованого на принципі паралельної нульовизації з визначенням подальших залишків (Н4) і для методу, заснованого на використанні позиційної ознаки непозиційної кодової структури.

Аналіз отриманих результатів проведених розрахунків та порівняльного аналізу оперативності розроблених методів контролю даних у СЗК, що приведені у табл. 6, показав, що зі збільшенням розрядності l чисел, які оброблюються, що характерно для сучасної тенденції розвитку КСКОЦД, ефективність використання методу заснованого на використанні ПОНКС – зростає.

Розроблено метод підвищення достовірності оперативного контролю даних у СЗК. У результаті аналізу розробленого методу, що заснований на використанні позиційної ознаки непозиційної кодової структури, у роботі показано, що він має низьку достовірність контролю. Низька достовірність контролю даних спричинена наявністю ненульового значення залишку a у виразі:

$$a = M_{n+1} / m_{n+1} - [M_{n+1} / m_{n+1}] = M / m_{n+1} - [M / m_{n+1}]. \quad (7)$$

Таблиця 6

Дані порівняльного аналізу часу контролю даних у СЗК

Метод контролю	Відносний час контролю даних T / τ				
	Величина розрядної сітки $l(n)$				
	$l = 1$ ($n = 4$)	$l = 2$ ($n = 6$)	$l = 3$ ($n = 8$)	$l = 4$ ($n = 10$)	$l = 8$ ($n = 16$)
ПНН ВПЗ	3	4	6	7	12
ПОНКС	4	4	4	4	4
Виграш в %	–	0	33	42	66

У свою чергу, наявність ненульового $a \neq 0$ залишку визначається фактом не кратності значення M контрольному модулю m_{n+1} СЗК, який визначає величину числового інтервалу $[j_{n+1} \cdot m_{n+1}, (j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1})$ можливого знаходження числа A . У цьому випадку контроль даних $A = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$ здійснюється на основі використання контрольної m_{n+1} основи СЗК, шляхом формування ОК $K_{N_{n+1}}^{(n_A)} = \{Z_{N_{n+1}-1}^{(A)} Z_{N_{n+1}-2}^{(A)} \dots Z_0^{(A)}\}$.

Геометрично низьку достовірність контролю даних можна пояснити таким чином. Числовий інформаційний інтервал $[0, M = \prod_{i=1}^n m_i)$ не вміщує ціле число відрізків довжиною рівних значенню $m_i = m_{n+1}$. У цьому випадку на числовій осі $0 \div M_0$ існує числовий інтервал $[j_{n+1} \cdot m_{n+1}, (j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1})$ (або $[(N_{n+1} - 1) \cdot m_{n+1}, N_{n+1} \cdot m_{n+1})$), усередині якого знаходиться число M . Тому у цьому інтервалі одночасно знаходиться сукупність $(j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1} - M$ неправильних чисел (або $N_{n+1} \cdot m_{n+1} - M$) і сукупність $M - j_{n+1} \cdot m_{n+1}$ правильних чисел (або $M - (N_{n+1} - 1) \cdot m_{n+1}$). У процесі контролю даних A , при проведенні процедури нульовизації, усі, як неправильні $(j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1} - M$, так і правильні $M - j_{n+1} \cdot m_{n+1}$ числа зміщуються на лівий край (до одного правильного числа $j_{n+1} \cdot m_{n+1}$) інтервалу $[j_{n+1} \cdot m_{n+1}, (j_{n+1} + 1) \cdot m_{n+1})$. У цьому випадку, системою контролю (СК) КСКОЦД, неправильні $[N_{n+1} \cdot m_{n+1}) - M]$ числа будуть ідентифікуватися (визначатися) як правильні.

Під достовірністю контролю даних у СЗК будемо розуміти імовірність отримання істинного результату операції контролю даних, що представлені у СЗК. У якості показника для кількісної оцінки достовірності контролю даних у СЗК доцільно скористатися співвідношенням:

$$P_{ок} = V_{ПС} / V_{ОС}, \quad (8)$$

де $V_{ПС} = M$ – кількість (від 0 до $M - 1$) правильних ($A < M$), що лежать у робочому числовому $[0, M_0)$ діапазоні, кодових слів для даної СЗК;

$V_{OC} = (V_{PC} + V_{HC})$ – загальна кількість кодових слів, які у результаті проведення контролю даних вважаються правильними;

$V_{HC} = (N_i \cdot m_i - M)$ – кількість неправильних ($A \geq M$) кодових слів, які в результаті проведення контролю даних вважаються правильними (відмітимо, що $N_i =]M / m_i[= j_i + 1$).

З урахуванням цього, показник достовірності (8) визначається співвідношенням:

$$P_{ок} = \frac{M}{M + N_i \cdot m_i - M} = \frac{M}{N_i \cdot m_i}. \quad (9)$$

При $m_i = m_{n+1}$ маємо, що $V_{HC} = (N_{n+1} \cdot m_{n+1} - M)$ і вираз (9) набуде вигляду

$$P_{ок} = \frac{M}{M + N_{n+1} \cdot m_{n+1} - M} = \frac{M}{N_{n+1} \cdot m_{n+1}}. \quad (10)$$

Так, як $N_{n+1} \cdot m_{n+1} > M$, то у цьому випадку завжди $P_{ок} < 1$.

Якщо в якості основи m_i , що визначає величини числових $j_i \cdot m_i \div (j_i + 1) \cdot m_i$ інтервалів, візьмемо інформаційну основу СЗК, наприклад, $m_i = m_1$, тоді $N_i =]M / m_i[= N_1 =]M / m_1[$ та $N_1 = \prod_{i=2}^n m_i$. У цьому випадку, вираз (9) набуде вигляду:

$$P_{ок} = \frac{M}{M + N_1 \cdot m_1 - M} = \frac{M}{N_1 \cdot m_1} = 1. \quad (11)$$

Тобто, у разі вибору $m_i = m_1$, СК КСКОЦД завжди забезпечує достовірний результат контролю даних у СЗК.

Розроблений метод підвищення достовірності контролю даних у СЗК, представлено на рис. 4. Суть запропонованого методу підвищення достовірності контролю даних у СЗК полягає у забезпеченні максимальної $P_{ок} = 1$ достовірності контролю даних, шляхом забезпечення виконання умови $a = 0$ (див. вираз (7)). У цьому випадку для обчислення значення $N_i =]M / m_i[$ вибирається модуль m_i , який визначає номер j_i числового інтервалу $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$ знаходження числа $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$, тільки з сукупності n інформаційних модулів СЗК, які, звичайно, кратні значенню M . У цьому випадку $a = M - [M / m_i] \cdot m_i = 0$, що і забезпечує максимальне значення показника достовірності контролю $P_{ок} = 1$ (див. вираз (9)).

Попередня оцінка кількості обладнання для l -байтової розрядної сітки представлення машинного слова КСКОЦД може бути проведена за допомогою значення коефіцієнта ефективності, який представляється у вигляді:

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

1	Вибір модуля m_i , що визначає номер j_i числового інтервалу $[j_i \cdot m_i, (j_i + 1) \cdot m_i)$ знаходження числа $A = (a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_n, a_{n+1})$ з сукупності n інформаційних модулів СЗК
2	Перевірка забезпечення виконання умови $a = M - [M / m_i] \cdot m_i = 0$, для забезпечення максимального значення показника достовірності контролю $P_{ок} = \frac{M}{M + N_i \cdot m_i - M} = \frac{M}{N_i \cdot m_i} = 1$
3	Для забезпечення мінімальної кількості обладнання системи контролю у СЗК, виходячи з виразу $N_i = \prod_{\substack{K=1; \\ K \neq i}}^{n+1} m_K$ ($i = \overline{1, n}$), для впорядкованої ($m_i < m_{i+1}$) СЗК, вибирається максимальна за величиною інформаційна основа m_n .

Рис. 4 Метод підвищення достовірності контролю даних у СЗК

У табл. 7 приведені розрахункові дані умовної кількості обладнання системи контролю КСКОЦД, що функціонує у СЗК, і дані порівняльного аналізу скорочення кількості обладнання СК для $m_i = m_n$.

Таблиця 7

Порівняльні дані кількості обладнання СК КСКОЦД

Розрядна сітка l -байтової КСКОЦД у СЗК (ρ, n)	min інформаційна m_1 основа СЗК	max інформаційна m_n основа СЗК	Контрольна m_{n+1} основа СЗК	$K_{эф.}^{(l)}$
$l = 1$ ($\rho = 8, n = 4$)	$m_1 = 3$	$m_4 = 7$	$m_5 = 11$	2,3
$l = 2$ ($\rho = 16, n = 6$)	$m_1 = 2$	$m_6 = 13$	$m_7 = 17$	6,5
$l = 3$ ($\rho = 24, n = 8$)	$m_1 = 3$	$m_8 = 19$	$m_9 = 23$	6,3
$l = 4$ ($\rho = 32, n = 10$)	$m_1 = 2$	$m_{10} = 29$	$m_{11} = 31$	14,5
$l = 8$ ($\rho = 64, n = 16$)	$m_1 = 3$	$m_{16} = 53$	$m_{17} = 59$	17,6

Таким чином, застосування методу підвищення достовірності контролю даних у СЗК, що заснований на використанні ПОНКС, забезпечує отримання достовірного результату до одиниці довжини числового діапазону і дозволяє підвищити достовірність контролю даних в залежності від значення контрольної основи до 4%.

Розрахункові дані і порівняльний аналіз достовірності контролю даних та кількості обладнання СК у СЗК показав, що з ростом розрядної сітки оброблюваних даних у КСКОЦД, ефективність непозиційного кодування у СЗК істотно зростає.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [2, 14, 28, 31, 32, 39, 45, 46, 57-60, 70].

У **п'ятому розділі** сформульовані та вирішені сьоме та восьме завдання досліджень, а також отримані четвертий та п'ятий наукові результати.

У загальному випадку під діагностикою даних у СЗК розуміється процес визначення спотворених залишків у надмірній $(n+k)$ НКС, що має вид $A_{СЗК} = (a_1 \| a_2 \| \dots \| a_{i-1} \| a_i \| a_{i+1} \| \dots \| a_n \| \dots \| a_{n+k})$, де n і k – кількість, відповідно, інформаційних і контрольних основ m_i ($i = \overline{1, n+k}$) у впорядкованій ($m_i < m_{i+1}$) СЗК. Діагностика НКС проводиться після контролю даних, для подальшої можливої корекції помилок. Для реалізації процедури діагностики помилок даних у СЗК виникає необхідність використання поняття альтернативної сукупності (АС) $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ неправильних $\tilde{A} = (a_1 \| a_2 \| \dots \| a_{i-1} \| \tilde{a}_i \| a_{i+1} \| \dots \| a_n)$ чисел. Під поняттям АС $W(\tilde{A})$ неправильного (спотвореного) числа \tilde{A} розуміється сукупність $\{m_{l_k}\}$ ($k = \overline{1, \rho}$) з ρ основ СЗК, по яких правильне (неспотворене) число (кодове слово) $A_{СЗК}$ може відрізнитися від цієї сукупності $\{\tilde{A}\}$ можливих похідних неправильних чисел. При цьому передбачається, що може виникнути тільки одноразова (по одному із залишків m_i ($i = \overline{1, n+1}$) помилка числа $A_{СЗК}$ (спотворення одного з $(n+1)$ залишків).

Відмітимо, що АС розглядається при введенні в кодову структуру СЗК мінімальної інформаційної надмірності, шляхом додання до n інформаційних, однієї ($k=1$) додаткової (контрольної) основи m_{n+1} СЗК, за умови, що $m_i < m_{n+1}$ ($i = \overline{1, n}$). У цьому випадку загальна кількість $N_{ЗК}$ кодових слів у СЗК дорівнює $N_{ЗК} = \prod_{i=1}^{n+1} m_i$. Кількість $N_{НК}$ правильних кодових слів дорівнює $N_{НК} = \prod_{i=1}^n m_i$, а кількість $N_{НК}$ неправильних (спотворених) кодових слів дорівнює $N_{НК} = N_{ЗК} - N_{НК} = N_{НК} \cdot (m_{n+1} - 1)$. Необхідність визначення АС може виникати у наступних випадках. По-перше, при необхідності проведення процесу контролю, діагности та корекції помилок даних у СЗК. По-друге, при організації процедур контролю, діагности та виправлення помилок даних у СЗК у процесі рішення задачі у динаміці обчислювального процесу (ДОП) (у реальному часі, тобто без зупинки обчислень) при введенні мінімальної інформаційної надмірності. Одна з основних вимог до процедури визначення АС у СЗК являється вимога зменшення часу визначення цього набору основ. Особливо ця вимога критична для другого випадку – при рішенні обчислювальних задач у ДОП.

Усі існуючі методи визначення АС чисел ґрунтуються на процедурі послідовного визначення основ АС чисел у СЗК. Також слід відмітити, що процедура визначення АС числа для існуючих методів містить операції переведення числа з СЗК у ПСЧ, переведення проєкцій \tilde{A} неправильного числа з СЗК у ПСЧ та операцію порівняння чисел. У СЗК перелічені операції відносяться

до непозиційних операцій, що вимагають великих часових та апаратних витрат на їх реалізацію. Недоліками цих методів визначення АС є висока обчислювальна трудомісткість і значний час визначення АС.

У роботі вдосконалено метод визначення альтернативної сукупності непозиційної кодової структури у системі залишкових класів, що дозволяє зменшити час визначення АС чисел. Суть методу визначення АС чисел полягає у попередньому формуванні M таблиць відповідності (таблиць першого ступеня) $A = \Phi_1(\tilde{A})$, кожного правильного числа $A_{СЗК}$ (з числового діапазону $0 \div M - 1$), можливій сукупності $\{\tilde{A}\}$ неправильних чисел (з числового діапазону $M \div M_0 - 1$) при виникненні у числі A одноразових помилок (табл. 8).

Таблиця 8

Таблиця першого ступеня для
 $A = ((M - 1)(\text{mod } m_1) \parallel (M - 1)(\text{mod } m_2) \parallel \dots \parallel (M - 1)(\text{mod } m_{n+1}))$

$M - 1$				
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
$0(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
$1(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$m_1 - 1(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$0(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$1(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$m_2 - 1(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$0(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$1(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$m_n - 1(\text{mod } m_n)$	$(M - 1)(\text{mod } m_{n+1})$
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$0(\text{mod } m_{n+1})$
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$2(\text{mod } m_{n+1})$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$(M - 1)(\text{mod } m_1)$	$(M - 1)(\text{mod } m_2)$	...	$(M - 1)(\text{mod } m_n)$	$m_{n+1} - 1(\text{mod } m_{n+1})$

На основі аналізу вмісту цих таблиць першого ступеня складається табл. 9 другого ступеня, в якій приведена відповідність $\tilde{A} = \Phi_2(A)$ кожного неправильного \tilde{A} числа з числового діапазону $M \div M_0 - 1$ можливим значенням виправлених (правильних) $A_{СЗК}$ чисел. Кількість правильних чисел відповідає кількості основ СЗК, що містяться в АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_p}\}$ числа $A_{СЗК}$.

Таблиця другого ступеня

Неправильне \tilde{A} число	Правильне A число з діапазону $0 \div (M - 1)$	Значення АС $W(\tilde{A})$
$\tilde{A}_M = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{n+1})$	$\tilde{A}_{i1} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{n+1}),$ $(i = \overline{0, (M - 1)})$	$W(\tilde{A}_M) = \{m_i, \dots, m_{n+1}\},$ $(i = \overline{1, n})$
	\vdots	
	$\tilde{A}_{i(M-1)} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{n+1}),$	
\vdots	\vdots	\vdots
$\tilde{A}_{(M_0-1)} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{n+1})$	$\tilde{A}_{i1} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{n+1}),$	$W(\tilde{A}_{(M_0-1)}) = \{m_i, \dots, m_{n+1}\},$ $(i = \overline{1, n})$
	\vdots	
	$\tilde{A}_{i(M_0-1)} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{n+1})$	

На рис. 5 показані етапи реалізації вдосконаленого методу визначення альтернативної сукупності непозиційних кодових структур у СЗК.

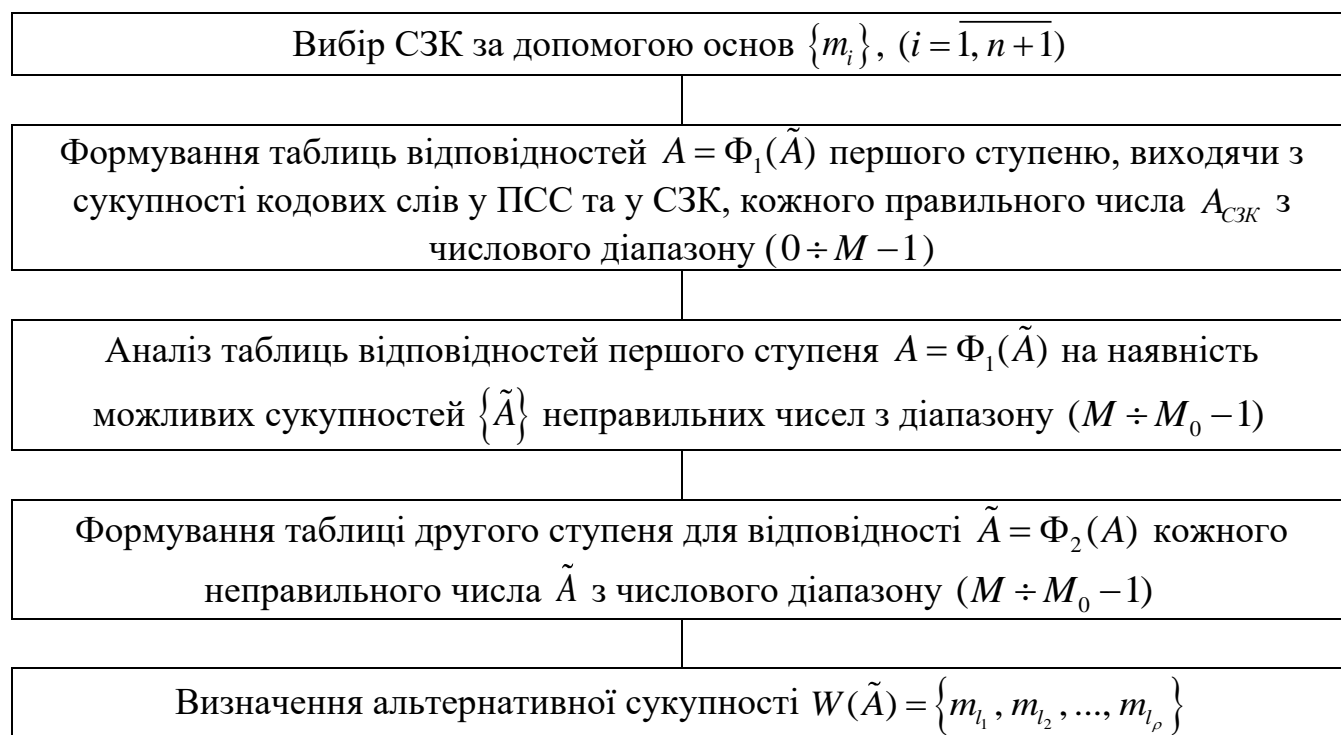


Рис. 5 Вдосконалений метод визначення альтернативної сукупності у СЗК

Для оцінки часу діагностики даних у роботі виведені математичні співвідношення для методу проєкцій та для вдосконаленого методу визначення АС. Час діагностики даних за допомогою методу проєкцій ($T_{дМПр}$) буде визначатись у відповідності з виразом:

$$T_{дМПр} = t_{нр.} + t_{мн.} + t_{\Sigma} + t_{mod} + t_{нор.} \quad (12)$$

альтернативної сукупності у СЗК ($T_{дW(A)}$), визначимо по формулі (14):

$$T_{дW(A)} = t_{зв.} + t_{W(A)} \quad (14)$$

де $t_{зв.}$ – час утворення адреси і звернення у таблицю визначення АС залежить від кількості інформаційних основ, оскільки контрольна основа завжди входить до альтернативної сукупності. У зв'язку з цим $t_{зв.} = n \cdot t$.

$t_{W(A)}$ – час вибірки з таблиці відповідних значень АС дорівнює одному часовому такту функціонування, тобто $t_{W(A)} = t$.

Виходячи з вище сказаного, вираз (14) можна записати у виді:

$$T_{дW(A)} = n \cdot t + t = 2 \cdot n \cdot t. \quad (15)$$

Для зручності приведемо отриманий вираз (15) до величини умовного часового такту обробки даних $\tau_{ум.} = 2 \cdot t$ і отримуємо:

$$T_{дW(A)} = n \cdot \tau_{ум.}$$

Розрахункові значення часу діагностики даних представлених у СЗК, зведемо у табл. 10.

Таблиця 10

Дані порівняльного аналізу часу діагностики даних у СЗК

Метод діагности	Відносний час діагностики даних $T / \tau_{ум.}$				
	Величина розрядної сітки $l(n)$				
	$l = 1$ ($n = 4$)	$l = 2$ ($n = 6$)	$l = 3$ ($n = 8$)	$l = 4$ ($n = 10$)	$l = 8$ ($n = 16$)
Метод проєкцій	10	12	14	16	22
Вдосконалений метод визначення АС	4	6	8	10	16
Виграш у %	60	50	42,8	37,5	27,3

З аналізу табл. 10 видно, що час діагностики даних у СЗК можна зменшити приблизно на 30 %, що підвищує оперативність процедури діагностування.

Вдосконалено метод оперативної діагностики даних, що представлені у СЗК, який заснований на основі процедури інтервальних числових перерізів. Суть вдосконаленого методу підвищення оперативності діагностування даних у СЗК полягає в тому, що АС $W(\tilde{A})$ визначається тільки в числовому інтервалі $\Delta A^{(H)} = (A - A^{(H)}) < M$, де $A_{СЗК}^{(H)} = (0 \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel \gamma_{n+1})$ – нульовизоване число у СЗК. Таким чином, для усунення надмірності АС $W(\tilde{A})$, за рахунок скорочення довжини інтервалу знаходження числа $A_{СОК}$ пропонується визначити значення $A^{(H)} = (0 \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel \gamma_{n+1})$ та $\Delta A^{(H)} = (A - A^{(H)})$. Відповідно до розподілу помилок по інтервалах робочого діапазону $[0, M)$, заздалегідь для кожного

інтервалу $[jM, (j+1)M)$ складаються двохходові таблиці відповідностей $\bar{W}(A) = \Phi(\gamma_{n+1}, \Delta A^{(H)})$. В цьому випадку АС $W(\tilde{A})$ визначається не в усьому інтервалі $[jM, (j+1)M)$, що містить неправильне число A , а тільки в числовому інтервалі $\Delta A^{(H)}$.

Розроблений метод оперативного діагностування даних, що представлені у СЗК, представлений на рис. 6.

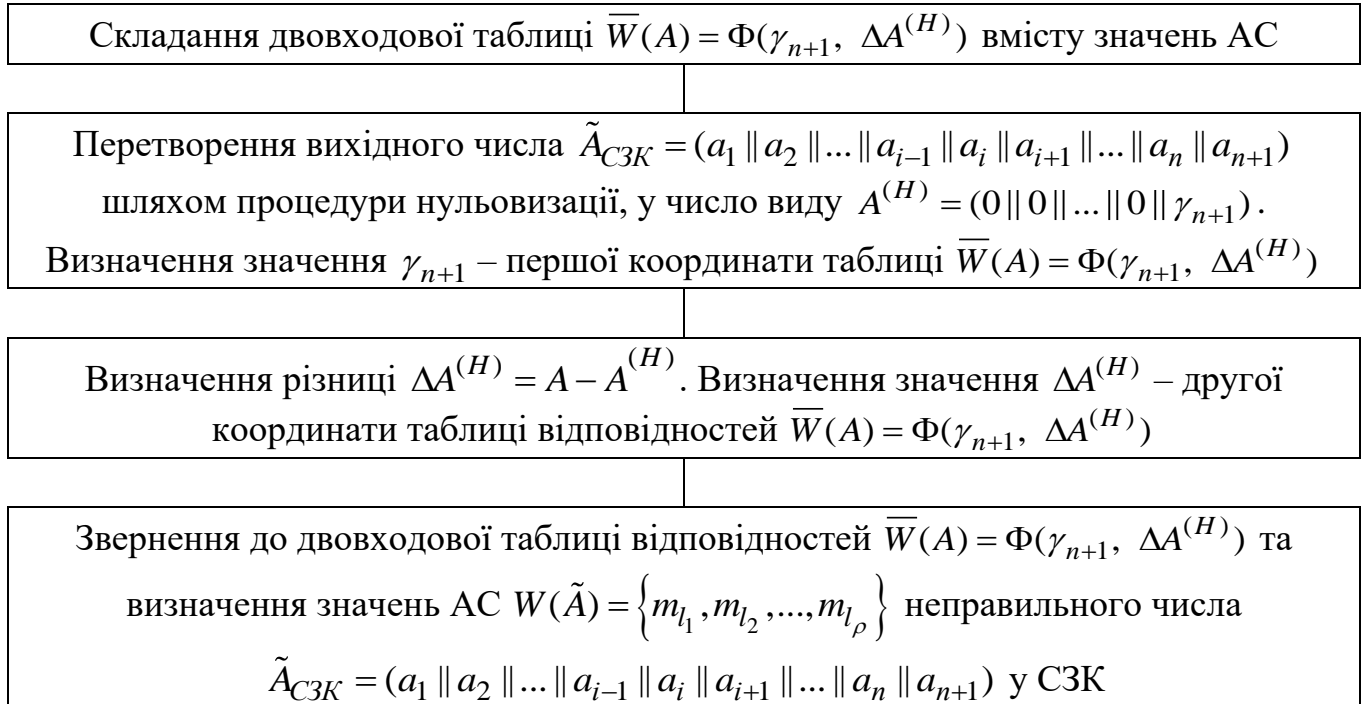


Рис. 6 Метод оперативного діагностування даних, що представлені у СЗК

Оперативність (ОП) стягнення АС чисел у СЗК до однієї помилкової основи для вдосконаленого методу оперативного діагностування даних, в залежності від розрядної сітки КСКОЦД, визначається з виразом 16:

$$ОП = \frac{1 - \frac{1}{M}}{n + 1} \cdot 100\% . \quad (16)$$

Таким чином, використання розробленого методу оперативної діагностики помилок даних, що представлені у СЗК, дозволяє підвищити оперативність стягнення АС, залежно від величини розрядної сітки від 6 до 19%.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [5, 16, 29, 33-35, 37, 42, 44, 49, 61, 64-68].

У шостому розділі описані методи корекції помилок у системі залишкових класів. Проведений аналіз виникнення помилок даних, що представлені у СЗК при виконанні обчислювального процесу показав, що помилка, яка виникає, може або зберігатись до кінця обчислення та проявляти себе як неправильний кінцевий результат, або може самоусунутись і кінцевий результат буде правильний.

Самоусунення помилки може виникнути у разі накладення кількох збоїв по даній основі, а також при одиничному збої, коли проміжний результат множиться на число, що має нульову цифру по основі, в якій виникла помилка. Тому, корекцію помилок даних проводять у разі необхідності.

Відповідно до коригувальних властивостей СЗК, отримаємо математичні співвідношення для корекції помилок даних. Нехай у неправильному ($\tilde{A} \geq M$) числі $\tilde{A} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel \tilde{a}_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$, помилка $\tilde{a}_i = (a_i + \Delta a_i) \bmod m_i$ достовірно міститься у залишку \tilde{a}_i по модулю m_i .

Очевидно, що:

$$\tilde{A} = (A + \Delta A) \bmod M_0. \quad (17)$$

З урахуванням того, що величину помилки можна представити у виді $\Delta A = (0 \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel \Delta a_i \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel 0)$, тоді правильне ($A_{СЗК} < M$) число можна визначити у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} A_{СЗК} &= (\tilde{A} - \Delta A) \bmod M_0 = [(a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel \tilde{a}_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1}) - \\ &\quad - (0 \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel \Delta a_i \parallel 0 \parallel \dots \parallel 0 \parallel 0)] \bmod M_0 = \\ &= [a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel (\tilde{a}_i - \Delta a_i) \bmod m_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1}] \bmod M_0. \end{aligned}$$

Оскільки, число $A_{СЗК}$ правильне, тобто знаходиться у числовому інтервалі $[0, M)$, тоді повинна виконуватись наступна нерівність

$$A = (\tilde{A} - \Delta A) \bmod M_0 < M. \quad (18)$$

З урахуванням того, що величина ΔA помилки дорівнює значенню $\Delta A = \Delta a_i \cdot B_i$, то нерівність (18) матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} &\tilde{A} - \Delta a_i \cdot B_i - r \cdot M_0 < M \text{ або} \\ &\tilde{A} - \Delta a_i \cdot B_i - r \cdot M_0 < M_0 / m_{n+1} (r = 1, 2, 3, \dots), \\ &\tilde{A} - (\tilde{a}_i - a_i) \cdot B_i - r \cdot M_0 < M_0 / m_{n+1}, \\ &\tilde{A} - (a_i - \tilde{a}_i) \cdot B_i - r \cdot M_0 < M_0 / m_{n+1}, \\ &(a_i - \tilde{a}_i) \cdot B_i < M_0 / m_{n+1} - \tilde{A} + r \cdot M_0, \\ &a_i - \tilde{a}_i < (M_0 / m_{n+1}) / B_i - \tilde{A} / B_i + r \cdot M_0 / B_i, \\ &a_i < \tilde{a}_i + (M_0 / m_{n+1}) / B_i - \tilde{A} / B_i + r \cdot M_0 / B_i. \end{aligned} \quad (19)$$

З урахуванням того, що ортогональний базис для модуля m_i СЗК представляється у вигляді $B_i = \bar{m}_i \cdot M_0 / m_i$, то вираз (19) набере вигляду:

$$\begin{aligned} a_i &< \tilde{a}_i + (m_i + r \cdot m_i \cdot m_{n+1}) / (\bar{m}_i \cdot m_{n+1}) - \tilde{A} / B_i \text{ або} \\ a_i &< \tilde{a}_i + m_i (1 + r \cdot m_{n+1}) / (\bar{m}_i \cdot m_{n+1}) - \tilde{A} / B_i, \end{aligned} \quad (20)$$

де \bar{m}_i – вага ортогонального базису ($\bar{m}_i \delta_i \equiv 1 \pmod{m_i}$), $M_i = \frac{M}{m_i}$, $\frac{M_i}{m_i} \equiv \delta_i \pmod{m_i}$).

Оскільки, значення залишку a_i є натуральне число, то значення $m_i(1 + r \cdot m_{n+1}) / (\bar{m}_i \cdot m_{n+1}) - \tilde{A} / B_i$ у виразі (20) має бути цілим числом. Тому, узявши цілу частину останнього співвідношення, отримаємо формулу для корекції помилки у залишку \tilde{a}_i числа \tilde{A} :

$$a_i = \left(\tilde{a}_i + [m_i \cdot (1 + r \cdot m_{n+1}) / (\bar{m}_i \cdot m_{n+1}) - \tilde{A} / B_i] \right) \bmod m_i. \quad (21)$$

Узагальнений метод корекції помилок даних, що представлені у системі залишкових класів показано на рис. 7.

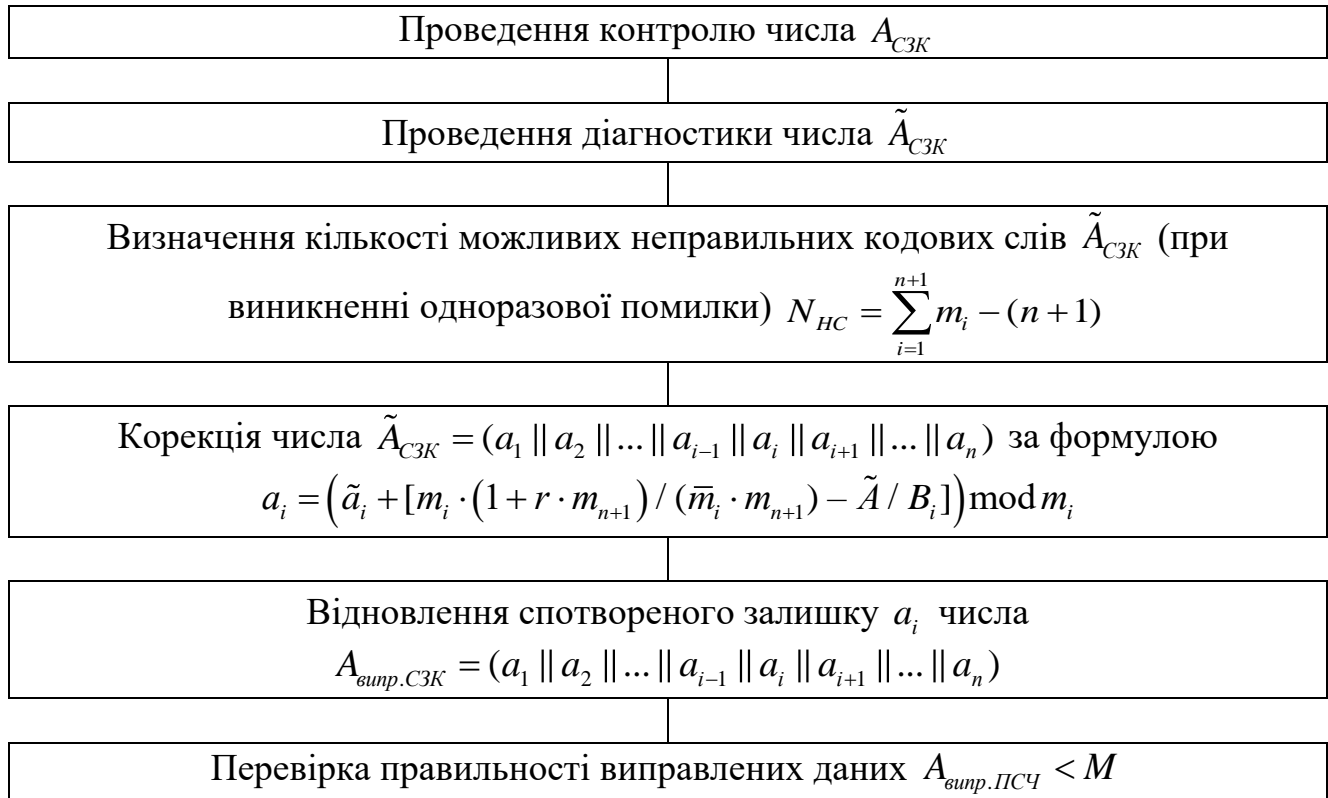


Рис. 7 Узагальнений метод корекції помилок даних у СЗК

Наявність у НКС одночасно первинної і вторинної інформаційної надмірності, у деяких випадках, може забезпечити можливість виправлення одноразових помилок у СЗК при МКВ, яка дорівнює $d_{\min}^{(СЗК)} = 2$.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [21, 25, 27, 40, 41].

У додатку А наведено список наукових праць опублікованих за темою дисертації.

У додатку Б наведено акти реалізації дисертаційних досліджень.

ВИСНОВКИ

У дисертації сформульована і вирішена важлива та актуальна науково-технічна проблема по розробці методів оперативного контролю та діагностики даних компонентів комп'ютерної системи, що функціонують у залишкових класах.

У процесі рішення часткових задач проблеми дисертації отримані наступні результати.

1. У процесі дослідження методів підвищення оперативності контролю, діагностики та корекції цілочислових даних, представлених у СЗК, у роботі

систематизовані можливі галузі науки і техніки, де є необхідність у швидких, достовірних та високоточних цілочислових обчисленнях. Показано, що існуючі методи контролю, діагности та корекції цілочислових даних у СЗК не завжди відповідають вимогам, що пред'являються до їх оперативності. Ця обставина істотно обмежує сферу ефективного застосування СЗК в якості системи числення КСКОЦД. Це, у свою чергу, визначає основну концепцію розвитку КСКОЦД у СЗК і вимагає рішення наступних часткових задач: дослідити методи підвищення оперативності контролю та діагности цілочислових даних, що представлені у системі залишкових класів, без зниження продуктивності обробки інформації; дослідити вплив властивостей системи залишкових класів на структуру і процес функціонування компонентів комп'ютерної системи обробки цілочислових даних; дослідити коригувальні властивості непозиційних кодових структур у системі залишкових класів; розробити метод контролю даних у системі залишкових класів, який заснований на принципі паралельної нульовизації; розробити метод контролю даних у системі залишкових класів, який заснований на використанні позиційної ознаки непозиційної кодової структури; розробити метод підвищення достовірності оперативного контролю даних, що представлені у системі залишкових класів; удосконалити метод визначення альтернативної сукупності непозиційних кодових структур у системі залишкових класів; удосконалити метод оперативної діагностики даних представлених в системі залишкових класів.

Використання розроблених методів і засобів оперативного контролю, діагности та корекції помилок даних дозволять усунути конфліктну ситуацію між існуючою можливістю значного підвищення швидкодії виконання цілочислових арифметичних операцій у СЗК і низькою оперативністю існуючих систем і засобів контролю та діагности результатів обчислень у СЗК.

Підвищення оперативності контролю та діагностики даних компонент комп'ютерної системи, що функціонують у системі залишкових класів досягається за рахунок результатів рішення сформульованої науково-технічної проблеми. Це здійснюється шляхом усунення протиріччя між високою швидкодією реалізації цілочислових арифметичних операцій і низькою (недостатньою) оперативністю контролю та діагностики даних.

2. З метою визначення можливості створення ефективних методів, систем та засобів оперативного контролю та діагностики даних у СЗК у роботі сформульовані принципи побудови НКС. На підставі сформульованих принципів побудови НКС проведені дослідження впливу властивостей СЗК на структуру і процес функціонування компонентів комп'ютерної системи обробки цілочислових даних. Результати дослідження лягли в основу формулювання принципів технічної реалізації цілочислових арифметичних операцій у СЗК.

У роботі сформульовані три принципи технічної реалізації арифметичних

цілочислових операцій: суматорний (на основі використання малорозрядних двійкових суматорів по модулю СЗК); принцип кільцевого зсуву (на основі використання кільцевих регістрів зсуву) і табличний (матричний) принцип, який заснований на використанні постійних запам'ятовуючих пристроїв. Методи обробки даних, що засновані на цих принципах, впливають на оперативність систем і засобів контролю у СЗК.

На основі результатів досліджень показана можливість створення ефективних методів, систем і засобів контролю та діагностики даних у СЗК.

3. З метою розробки та вдосконалення методів підвищення оперативності контролю та діагностики помилок цілочислових даних, які представлені у СЗК, у роботі досліджені загальні коригувальні властивості непозиційних кодових структур. Сформульовані основні положення та виводи теорії завадостійкого кодування даних у СЗК. Це дало можливість створити процедуру варіювання коригувальними здібностями завадостійкого коду СЗК у динаміці обчислювального процесу.

4. У роботі досліджені методи контролю даних у СЗК, які засновані на принципі нульовизації. На основі результатів аналізу існуючих методів контролю даних у СЗК, розроблено метод контролю даних, який заснований на принципі паралельної нульовизації з попереднім аналізом подальших симетричних залишків числа, що контролюється. Цей метод, у порівнянні з існуючими методами, які засновані на принципі нульовизації, дозволяє, залежно від довжини машинного слова КСКОЦД, на 25-60 % підвищити оперативність контролю даних.

5. На основі використання сформованої позиційної ознаки НКС, розроблено метод контролю даних у СЗК. Цей метод дозволяє проводити контроль даних, які представлені у СЗК тільки в інформаційному числовому інтервалі, а також у першому інтервалі, що знаходиться після значення M інтервалі, який розташований на відрізку $0-M$. Це у свою чергу зменшує кількість констант, що визначаються у записі $K_{N_i}^{(n_A)} = \{Z_{N_i-1}^{(A)} Z_{N_i-2}^{(A)} \dots Z_1^{(A)} Z_0^{(A)}\}$ ОК. Цей метод, у порівнянні з існуючими методами дозволяє до 60 % підвищити оперативність контролю даних представлених у СЗК.

6. Розроблено метод підвищення достовірності контролю даних, що представлені у СЗК, який заснований на використанні позиційної ознаки НКС. Показано, що для підвищення достовірності контролю даних, необхідно вибрати максимальну за величиною інформаційну основу m_n . Використання цього методу забезпечує отримання достовірного результату контролю з точністю до одиниці довжини числового інтервалу.

7. У роботі вдосконалено метод визначення альтернативної сукупності непозиційних кодових структур, який заснований на реалізації функцій відповідності значень можливих помилок, шляхом формування таблиць

відповідності правильного числа можливій сукупності неправильних чисел, що дозволяє підвищити оперативність діагностики помилок НКС у СЗК. Розроблений метод зменшує кількість основ СЗК, що перевіряються, які входять в альтернативну сукупність чисел. Використання цього методу дозволяє підвищити оперативність діагностики та корекції помилок до 30 %.

8. У роботі вдосконалено метод оперативної діагностики непозиційних кодових структур, який заснований на процедурі інтервальних числових перерізів. Метод будується на процедурі згортки таблиці відповідності значень можливих помилок і дозволяє підвищити оперативність стягування альтернативної сукупності залежно від величини розрядної сітки КСКОЦД від 6 до 19%. Запропонований метод дозволяє зменшити час діагностики помилок даних, представлених у СЗК, що підвищує оперативність діагностики. Використання запропонованого методу оперативної діагностики даних підвищує загальну ефективність і доцільність використання в обчислювальних системах непозиційних кодових структур у СЗК.

9. У роботі приведені теоретичні основи корекції (виправлення) помилок даних у СЗК. Використовуючи основні теоретичні положення корекції непозиційних кодових структур, представлені методи виправлення помилок у СЗК. Ці методи засновані на використанні як взаємно простих (R -коди), так і взаємно непростих (L -коди) основ. Використання методів виправлення помилок у НКС, представлених R -кодами, дозволяє за рахунок паралельного виправлення помилок структури, що діагностується, у ρ раз підвищити оперативність корекції помилок у СЗК. Де ρ – кількість можливих залишків НКС, у яких відбулися помилки. У свою чергу, використання L -кодів дозволяє розширити клас помилок, що коректуються. Це істотно розширює коригувальні можливості L -кодів у СЗК. Такі алгоритми корекції помилок у СЗК дозволяють відносно просто реалізувати процедуру виявлення та виправлення однократних помилок. Основні переваги L – кодів у СЗК полягають у простоті процедури виявлення місця помилки та її локалізації. За простотою схем декодують, L – коди не мають аналогів, як у ПСЧ, так і у СЗК.

10. На основі розроблених і вдосконалених методів синтезовані алгоритми контролю, діагностики та корекції помилок, на основі яких отримані 35 патентів України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Кошман С. А., Краснобаев В. А., Мороз С. А., Курчанов В. Н., Янко А. С. Модели и методы обработки данных в системе остаточных классов: монография. Харьков: ООО "В деле", 2017. 197 с. (*Особистий внесок здобувача:*

розроблено метод контролю даних, що представлені у СЗК).

2. ISCI'2017: Information Security in Critical Infrastructures: monograph: / Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov. ASC Academic Publishing, USA, 2017. 207 p. (*Особистий внесок здобувача: розроблено метод контролю даних, що представлені у СЗК).*

3. Koshman S., Krasnobayev V., Kuznetsov A., Rassomakhin S., Zamula A., Kavun S. Effective Data Processing in Coding, Digital Signals and Cryptography: monograph. ASC Academic Publishing, 2018. 352 p. (*Особистий внесок здобувача: розроблено методи контролю та діагностики даних, що представлені у СЗК).*

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. Кошман С. А. Концепция создания системы обработки цифровой информации на основе использования системы остаточных классов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2010. № 7 (48). С. 138-141.

5. Кошман С. О. Метод реалізації арифметичних операцій у системі залишкових класів // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. 2010. Вип. 102. С. 77-79.

6. Кошман С. А., Загумённая Е. В. Анализ особенностей функционирования автоматизированной системы управления турбоустановками // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. 2011. Вип. 116. С. 117-120. (*Особистий внесок здобувача: досліджені особливості проектування КСКОЦД реального часу).*

7. Кошман С. О. Концепція підвищення продуктивності обробки інформації у реальному часі // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. 2011. Вип. 117. С. 63-65.

8. Кошман С. А., Краснобаев В. А., Маврина М. А. Методы оптимального резервирования в модулярной системе счисления // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. 2012. Вип. 129. С. 105-108. (*Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод оптимального резервування КСКОЦД у СЗК).*

9. Загумённая Е. В., Кошман С. А., Маврина М. А., Краснобаев В. А. Метод арифметического сравнения чисел в классе вычетов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра

Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. 2012. Вип. 130. С. 72-75. *(Особистий внесок здобувача: розроблено метод арифметичного порівняння чисел у СЗК).*

10. Краснобаев В. А., Маврина М. А., Кошман С. А. Контроль, диагностика и исправление ошибок данных, представленных кодом класса вычетов // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2013. № 2(109). С. 48-54. *(Особистий внесок здобувача: досліджено коригувальні властивості кодів, що представлені у СЗК).*

11. Краснобаев В. А., Маврина М. А., Кошман С. А., Курчанов В. Н. Концепция создания компьютерных средств обработки данных на основе использования кодов класса вычетов // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2013. № 4(111). С. 133-138. *(Особистий внесок здобувача: досліджено особливості застосування кодів у СЗК при побудові КСКОЦД).*

12. Кошман С. А., Краснобаев В. А., Сомов С. В., Крючко Е. А. Метод быстрой обработки криптографической информации в модулярной системе счисления // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2013. № 6(113). С. 194-198. *(Особистий внесок здобувача: розроблено метод швидкої обробки інформації, що представлена у СЗК).*

13. Кошман С. А., Краснобаев В. А., Тыртышников А. И., Гаркавенко Н. С. Концепция создания отказоустойчивых компьютерных систем обработки информации в системе остаточных классов на основе применения ПЛИС // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2013. № 7(114). С. 79-82. *(Особистий внесок здобувача: досліджено шляхи підвищення продуктивності та достовірності обробки даних у КСКОЦД).*

14. Краснобаев В. А., Кошман С. А., Курчанов В. Н., Гарамась А. В. Метод контроля криптографической информации, представленной в модулярной системе счисления // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Харків. 2013. Вип. 3(36). С. 104-107. *(Особистий внесок здобувача: розроблено метод контролю, який заснований на принципі нульовизації даних у СЗК).*

15. Краснобаев В. А., Кошман С. А., Маврина М. А. Метод исправления однократных ошибок данных, представленных кодом класса вычетов // Электронное моделирование. 2013. Том 35, № 5. С. 43-56. *(Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод виправлення одноразових помилок даних у СЗК).*

16. Краснобаев В. А., Кошман С. А., Маврина М. А. Метод повышения достоверности контроля данных, представленных в системе остаточных классов // Кибернетика и системный анализ. 2014. Том. 50, № 6. С. 167-175. *(Особистий внесок здобувача: дано обґрунтування низької достовірності контролю даних).*

представлених у СЗК).

17. Koshman S. A., Krasnobayev V. A., Tyrtysnikov O. I., Sliusar I. I., Kurchanov V. N. The model and the method of implementation of integer arithmetic operations within the RSA crypto algorithms // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2014. № 1(117). С. 117-122. *(Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод реалізації цілочислових арифметичних операцій).*

18. Кошман С. А., Краснобаев В. А., Янко А. С. Математические модели и алгоритмы возведения целых чисел в квадрат по произвольному модулю класса вычетов // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків. 2014. Вип. 1(38). С. 132-137. *(Особистий внесок здобувача: вдосконалені математичні моделі піднесення цілих чисел у квадрат за довільним модулем класу лишків).*

19. Krasnobayev V. A., Tyrtysnikov O. I., Somov S. V., Koshman S. A., Sokol G. V., Rvachova N. V. Mathematical model and tabular method implementation of modular arithmetic operations with crypto transformations in the residue class // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2014. № 2(118). С. 119-123. *(Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод табличної обробки даних у СЗК).*

20. Краснобаев В. А., Янко А. С., Кошман С. А. Метод табличной реализации операции умножения в классе вычетов // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2014. № 4(120). С. 121-127. *(Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод реалізації арифметичних операцій у СЗК).*

21. Кошман С. А., Краснобаев В. А., Чернецкая И. А., Мартыненко А. М. Метод обработки данных в классе вычетов // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків. 2014. Вип. 2(39). С. 121-126. *(Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод обробки даних у СЗК).*

22. Краснобаев В. А., Янко А. С., Гроза П. Н., Кошман С. А., Гроза А. П., Бендес Ю. П. Расчет и сравнительный анализ производительности компьютерной системы обработки целочисленных данных, функционирующей в системе остаточных классов // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2015. № 1(126). С. 111-117. *(Особистий внесок здобувача: проведено розрахунок продуктивності комп'ютерних систем у СЗК).*

23. Краснобаев В. А., Янко А. С., Кошман С. А., Сомов С. А., Бендес Ю. П. Исследование производительности компьютерной системы обработки целочисленных данных, функционирующей в системе остаточных классов // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків. 2015. Вип. 1(42). С. 48-52. *(Особистий внесок здобувача: виведені аналітичні вирази для розрахунку продуктивності комп'ютерних систем обробки цілочислових даних у СЗК).*

24. Краснобаев В. А., Янко А. С., Кошман С. А., Курчанов В. Н., Бендес Ю. П. Расчет и сравнительный анализ производительности компьютерной системы обработки целочисленных данных, представленных в системе остаточных классов // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харків. 2015. Вип. 3(128). С. 57-61. *(Особистий внесок здобувача: досліджено вплив властивостей СЗК на продуктивність комп'ютерних систем).*

25. Краснобаев В. А., Янко А. С., Кошман С. А. Метод возведения остатков целых чисел по произвольному модулю системы остаточных классов в степень натурального числа // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Харків. 2015. № 1(71). С. 54–63. *(Особистий внесок здобувача: розроблено метод піднесення залишків за довільним модулем СЗК у ступінь натурального числа).*

26. Krasnobayev V. A., Yanko A. S., Kurchanov V. N., Koshman S. A. The analysis of the tasks and algorithms of data integer processing in the residual classes system // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2016. № 1 (75). С. 19-28. *(Особистий внесок здобувача: проведено аналіз задач та алгоритмів реалізації цілочислових арифметичних операцій у СЗК).*

27. Краснобаев В. А., Янко А. С., Кошман С. А. Метод арифметического сравнения данных, представленных в системе остаточных классов // Кибернетика и системный анализ. 2016. Том. 52, № 1. С. 157–162. *(Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод арифметичного порівняння даних у СЗК).*

28. Краснобаев В. А., Кошман С. А., Янко А. С. Метод оперативного контроля данных в системе остаточных классов, основанный на принципе последовательной нулевизации // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2017. № 1 (81). С. 57-68. *(Особистий внесок здобувача: розроблено метод оперативного контролю даних у СЗК на основі принципу нульовизації).*

29. Кошман С. А., Краснобаев В. А. Метод оперативного диагностирования данных, представленных в системе остаточных классов // Кибернетика и системный анализ. 2018. Том. 54, № 2. С. 182–192. *(Особистий внесок здобувача: розроблено метод оперативного діагностування даних у СЗК).*

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

30. Krasnobayev V. A., Koshman S. A. Method of realization of cryptographic RSA transformations on the basis of application of modular number system // International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences. 2011. Vol. 17, № 2. P. 31-36. *(Особистий внесок здобувача: вдосконалення методу реалізації криптографічних перетворень на основі використання СЗК).*

31. 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. November 2014. Vol. 50, Issue 6. P. 969-976. *(Особистий внесок здобувача: розроблено метод підвищення достовірності).*

контролю даних представлених у СЗК). (Видання входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

32. Краснобаев В. А., Янко А. С., Бендес Ю. П., Кошман С. А. Метод контроля данных в системе остаточных классов // Оралдын Гылым Жаршысы (Уральский научный вестник): Научно-теоретический и практический журнал. Уралск (Казахстан): ТОО "Уралнауцкнига", 2015. Вып. 5(136). С. 103-117. (Особистий внесок здобувача: удосконалено метод контролю даних у СЗК).

33. Krasnobayev V. A., Yanko A. S., Koshman S. A. The method of error correction in the system of residual classes // Nauka i studia. 2015. NR 5(136). P. 51-62. (Особистий внесок здобувача: досліджено методи корекції помилок даних у СЗК).

34. Krasnobayev V. A., Yanko A. S., Koshman S. A. Method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system // Cybernetics and Systems Analysis. January 2016. Vol. 52, Issue 1. P. 145-150. (Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод арифметичного порівняння даних у СЗК). (Видання входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

35. Koshman S. A., Krasnobayev V. A. A method for operational diagnosis of data represented in a residue number system // Cybernetics and Systems Analysis. March 2018. Vol. 54, Issue 2. P. 336-344. (Особистий внесок здобувача: розроблено метод оперативного діагностування даних у СЗК). (Видання входить до міжнародної наукометричної бази Scopus)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

36. Кошман С. А. Метод динамического резервирования в модулярной системе счисления // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доп. Матеріали стендових доповідей та виступів учасників конференції, №4. Алушта, Крим. Алушта, 2012. С. 61-62.

37. Кошман С. А. Особенности применения табличных методов обработки информации в модулярной системе счисления // Новітні технології для захисту повітряного простору: тези доп. Десятої наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 9–10 квітня 2014 р. Харків, 2014. С. 185.

38. Кошман С. А. Концепция реализации немодульных операций в модулярной системе счисления // Проблеми інформації: тези доп. Другої міжнародної науково-технічної конференції, Київ: ДУТ; Полтава: ПНТУ; Катовище: Катовицький економічний університет; Париж: Університет Париж VII Венсант-Сен-Дені; Білгород: "БДУ"; Черкаси: ЧДТУ; Харків: ХНДІТМ, 12–13 квітня 2014 року. Харків, 2014. С. 94-95.

39. Кошман С. А. Методы контроля, диагностики и коррекции ошибок данных, представленных в системе остаточных классов // Сучасні напрями

розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доп. Четвертої міжнародної науково-технічної конференції, Полтава: ПНТУ; Баку: ВА ЗС АР; Белгород: НДУ "БелДУ"; Кіровоград: КЛА НАУ; Харків: ДП "ХНДІ ТМ". Харків, 2014. С. 66.

40. Кошман С. А. Разработка и исследование методов нулевизации в системе остаточных классов // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доп. П'ятої міжнародної науково-технічної конференції, Полтава: ПНТУ; Баку: ВА ЗС АР; Белгород: НДУ "БелДУ"; Кіровоград: КЛА НАУ; Харків: ДП "ХНДІ ТМ". Харків, 2015. С. 39.

41. Кошман С. А. Методы нулевизации чисел в системе остаточных классов // Проблеми інформатизації: тези доп. Третьої міжнародної науково-технічної конференції, Черкаси: ЧДТУ; Баку: ВА ЗС АР; Бельсько-Бяла: УТіГН; Полтава: ПНТУ. Харків, 2015. С. 45.

42. Кошман С. А. Контроль, диагностика и коррекция данных, представленных в системе остаточных классов // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доп. Четвертої міжнародної науково-технічної конференції, Полтава: ПНТУ; Баку: ВА ЗС АР; Белгород: НДУ "БелДУ"; Кіровоград: КЛА НАУ; Харків: ДП "ХНДІ ТМ". Харків, 2017. С. 42.

43. Koshman S., Yanko A., Krasnobayev V. Algorithms of data processing in the residual classes system // Problems of Infocommunications Science and Technology PIC S&T 2017: abstr. 4th International Scientific-Practical Conference. Kharkiv, 2017. P. 117-121. (*Особистий внесок здобувача: досліджено принципи побудови непозиційних кодових структур*). (Видання входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

44. Krasnobayev V., Kuznetsov A., Koshman S., Moroz S. Improved method of determining the alternative set of numbers in residue number system // Recent Developments in Data Science and Intelligent Analysis of Information. Proceedings of the XVIII International Conference on Data Science and Intelligent Analysis of Information, June 4–7, 2018. Kyiv, 2018. P. 319-328. (*Особистий внесок здобувача: розроблено метод діагностики даних у СЗК*). (Видання входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

Статті у виданнях, що не входять до переліків МОН України та ДАК України

45. Краснобаев В. А., Кошман С. А., Янко А. С. Методы оперативного контроля данных в системе остаточных классов, основанные на принципе

параллельной нулевизации // Прикладная радиоэлектроника: научно-технический журнал. 2016. Том 15, № 3. С. 253-265. (*Особистий внесок здобувача: розроблено метод оперативного контролю даних у СЗК на основі принципу паралельної нульовизації*).

46. Krasnobayev V., Yanko A., Koshman S. The method of error detection and correction in the system of residual classes // Computer science and cybersecurity. 2016. Issue 1(1). P. 58–66. URL: <http://periodicals.karazin.ua/cscs/issue/viewIssue/453/510> (call date: 26.12.2016). (*Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод виправлення помилок даних у СЗК*).

47. Krasnobayev V., Yanko A., Koshman S. Conception of realization of cryptographic RSA transformations with using of the residue number system // Computer science and cybersecurity. 2016. Issue 2(2). P. 5–12. URL: <http://periodicals.karazin.ua/cscs/issue/viewIssue/454/517>. (call date: 26.12.2016) (*Особистий внесок здобувача: запропоновані шляхи використання СЗК у криптосистемах*).

48. Krasnobayev V., Koshman S., Yanko A. Method of tabular realization of arithmetic operations in the system of residual classes // Computer science and cybersecurity. 2016. Issue 3(3). P. 28–35. URL: <http://periodicals.karazin.ua/cscs/issue/view/533>. (call date: 26.12.2016). (*Особистий внесок здобувача: вдосконалення табличного методу реалізації арифметичних операцій*).

49. Кошман С. А., Краснобаев В. А., Янко А. С. Усовершенствованный метод определения альтернативной совокупности чисел в системе остаточных классов // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. Харьков: ХНУРЕ. 2017. Вып. 189. С. 29-37. (*Особистий внесок здобувача: вдосконалено метод визначення альтернативної сукупності чисел у СЗК*).

Патенти і авторські свідоцтва на винаходи

50. Пристрій додавання і віднімання чисел за модулем m модулярної системи числення на основі кільцевого зсуву: пат. 55454 Україна. № u 2010 08060; заявл. 29.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23. 4 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для додавання і віднімання чисел за модулем m модулярної системи числення на основі кільцевого зсуву*).

51. Пристрій для додавання та віднімання чисел за модулем m модулярної системи числення на основі кільцевого зсуву: пат. 56858 Україна. № u 2010 09485; заявл. 29.07.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для додавання та віднімання чисел за модулем m на основі кільцевого зсуву*).

52. Пристрій для додавання і віднімання чисел за модулем m модулярної

системи числення на основі кільцевого зсуву з контролем помилок: пат. 56684 Україна. № у 2010 07759; заявл. 21.06.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для додавання і віднімання чисел за модулем t модулярної системи числення на основі кільцевого зсуву з контролем помилок*).

53. Пристрій для додавання і віднімання чисел за модулем t модулярної системи числення: пат. 58949 Україна. № у 2010 12782; заявл. 28.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8. 4 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для додавання і віднімання чисел за модулем t модулярної системи числення*).

54. Табличний пристрій для множення у класі лишків: пат. 68803 Україна. № у 2011 11631; заявл. 03.10.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи табличного пристрою для множення у класі лишків*).

55. Табличний пристрій для множення двох чисел у класі лишків: пат. 70442 Україна. № у 2011 14342; заявл. 05.12.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи табличного пристрою для множення двох чисел у класі лишків*).

56. Пристрій для порівняння даних, що представлені у непозиційній системі числення класу лишків: пат. 79587 Україна. № у 2012 12654; заявл. 05.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для порівняння даних, що представлені у непозиційній системі числення класу лишків*).

57. Пристрій для контролю даних комп'ютерних пристроїв телекомунікаційної системи, що функціонують у класі лишків: пат. 79673 Україна. № у 2012 13145; заявл. 19.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8. 4 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для контролю даних комп'ютерної системи, що функціонує у класі лишків*).

58. Пристрій для контролю та корекції помилок даних комп'ютерних пристроїв комутаційно-комунікаційного вузла телекомунікаційної мережі, що функціонують у класі лишків: пат. 105436 Україна. № а 2013 00476; заявл. 14.01.2013; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для контролю та корекції помилок даних компонентів комп'ютерних систем, що функціонують у класі лишків*).

59. Пристрій для контролю даних комп'ютерних пристроїв телекомунікаційної системи, що функціонують у класі лишків: пат. 105455 Україна. № а 2013 07289; заявл. 10.06.2013; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: метод контролю даних комп'ютерних пристроїв, що функціонують у СЗК*).

60. Пристрій для контролю помилок даних у комп'ютерних пристроях комутаційно-комунікаційного вузла інформаційно-телекомунікаційної системи, що функціонують у класі лишків: пат. 105742 Україна. № а 2013 08773; заявл. 12.07.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для контролю помилок даних у комп'ютерних пристроях комутаційно-комунікаційного вузла інформаційно-телекомунікаційної системи, що функціонують у класі лишків*).

61. Пристрій для реалізації операції множення двох чисел у класі лишків: пат. 91321 Україна. № у 2014 01726; заявл. 24.02.2014; опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12. 4 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для реалізації операції множення двох чисел у класі лишків*).

62. Пристрій для арифметичного та алгебраїчного порівняння двох чисел у класу лишків: пат. 92069 Україна. № у 2014 02480; заявл. 12.03.2014; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для арифметичного та алгебраїчного порівняння двох чисел у класу лишків*).

63. Пристрій для табличної реалізації арифметичних операцій множення та додавання чисел за модулем m_i класу лишків: пат. 106343 Україна. № а 2013 15558; заявл. 30.12.2013; опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для табличної реалізації арифметичних операцій множення та додавання чисел за модулем m класу лишків*).

64. Пристрій для множення двох лишків за довільним модулем класу лишків: пат. 92403 Україна. № у 2014 03259; заявл. 31.03.2014; опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15. 4 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для множення двох лишків за довільним модулем класу лишків*).

65. Пристрій для піднесення цілих чисел, що представлені у класі лишків, до ступеня натурального числа: пат. 95060 Україна. № у 2014 06854; заявл. 18.06.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23. 4 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для піднесення цілих чисел, що представлені у класі лишків, до ступеня натурального числа*).

66. Пристрій для реалізації операції модульного множення двох чисел, які представлені у системі залишкових класів: пат. 108828 Україна. № а 2014 10608; заявл. 29.09.2014; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для реалізації операції модульного множення двох чисел, які представлені у системі залишкових класів*).

67. Пристрій для множення лишків a_i та b_i числа за довільним модулем m_i системи залишкових класів: пат. 110901 Україна. № а 2015 01377; заявл. 18.02.2015; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. 6 с. (*Особистий внесок здобувача:*

алгоритм роботи пристрою для множення лишків a_i та b_i числа за довільним модулем m_i системи залишкових класів).

68. Пристрій для множення лишків a_i та b_i чисел за модулем m_i : пат. 110913 Україна. № а 2015 05097; заявл. 25.05.2015; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для множення лишків a_i та b_i чисел за модулем m_i*).

69. Пристрій для реалізації операції множення та ділення чисел у системі залишкових класів: пат. 112034 Україна. № а 2015 07299; заявл. 20.07.2015; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для реалізації операції множення та ділення чисел у системі залишкових класів*).

70. Пристрій для контролю та діагностики даних, що представлені у системі залишкових класів: пат. 112731 Україна. № а 2015 10904; заявл. 09.11.2015; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для контролю та діагностики даних, що представлені у системі залишкових класів*).

71. Пристрій для визначення лишків дійсних та комплексних чисел у системі залишкових класів: пат. 114063 Україна. № а 2016 06697; заявл. 21.06.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 6 с. (*Особистий внесок здобувача: алгоритм роботи пристрою для визначення лишків дійсних та комплексних чисел у системі залишкових класів*).

АНОТАЦІЯ

Кошман С. О. Методи та засоби оперативного контролю та діагностики даних компонентів комп'ютерної системи у залишкових класах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України. – Харків, 2018.

На основі сформульованих принципів контролю, розроблено методи контролю даних у СЗК, які засновані на принципі паралельної нульовизації та позиційній ознаки НКС. Це підвищує оперативність контролю даних у СЗК до 60 %. Розроблено метод підвищення достовірності оперативного контролю даних, який заснований на використанні ПОНКС, це підвищує достовірність контролю даних у залежності від значення контрольної основи до 4%.

Вдосконалено методи оперативної діагностики даних у СЗК, які засновані на використанні функції відповідності значень можливих помилок та на формуванні числових інтервалів та ознак даних квадрантів знаходження АС чисел. Це підвищує оперативність діагностики помилок до 60% в порівнянні з

існуючими методами.

Отримані результати дозволили вирішити науково-технічну проблему по розробці методів оперативного контролю та діагностики даних компонентів комп'ютерної системи, що функціонують у залишкових класах.

Ключові слова: система числення, система залишкових класів, непозиційна кодова структура, комп'ютерні системи та компоненти обробки цілочислових даних, контроль та діагностика даних, достовірність контролю даних, нульовизація чисел, однорядковий код, паралельна обробка даних.

АННОТАЦИЯ

Кошман С. А. Методы и средства оперативного контроля и диагностики данных компонентов компьютерной системы в остаточных классах. –Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина Министерства образования и науки Украины. – Харьков, 2018.

На основе сформулированных принципов контроля, разработаны методы контроля данных в СОК, которые основаны на принципе параллельной нулевизации и позиционного признака НКС. Это повышает оперативность контроля данных в СЗК до 60%.

Разработан метод повышения достоверности оперативного контроля данных, который основан на использовании позиционного признака НКС, это повышает достоверность контроля данных в зависимости от значения контрольного основания до 4%.

Усовершенствованы методы оперативной диагностики данных в СОК, которые основаны на использовании функции соответствия значений возможных ошибок и на формировании числовых интервалов и признаков данных квадрантов нахождения АС чисел. Это повышает оперативность диагностики ошибок до 60% по сравнению с существующими методами.

Полученные результаты позволили решить научно-техническую проблему по разработке методов оперативного контроля и диагностики данных компонентов компьютерной системы, функционирующих в остаточных классах.

Ключевые слова: система счисления, система остаточных классов, непозиционная кодовая структура, компьютерные системы и компоненты обработки целочисленных данных, контроль и диагностика данных, достоверность контроля данных, нулевизация чисел, однорядовый код, параллельная обработка данных.

ANNOTATION

Koshman S. O. Methods and tools for operative data verification and diagnosis of computer system components in residue classes. – Manuscript.

Thesis for a Doctoral Degree of technical sciences, Specialty 05.13.05 – Computer Systems and Components. – V. N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine. – Kharkiv, 2018.

Based on the result analysis it was found, that for the present moment main theoretical problems in residue classes numeral system (RNS) had been solved and mathematical tool for the high-speed computer system and components construction was developed. However, the analysis of results has shown, that there is yet unsolved problem of constructing effective data control and verification system in RNS.

The result analysis of modern trends of computer systems and components development operating in RNS supports the presence of the mentioned conflict. On the one hand because of the existing possibility of significant boost of integer arithmetic operations execution, and on the other hand because of a low efficiency of existing methods and techniques of data diagnosis and verification, due to the significant amounts of time, needed for implementing mentioned procedures.

This is why the development of operative RNS data diagnosis and verification allows to eliminate existing contradictions during the construction of computer systems and components of integer data processing (CSCIDP). The analysis of these methods has shown, that they do not meet the requirements for providing efficient data diagnosis and verification all of the time.

The principles of non-positional code structure (NCS) construction in RNS were defined and researched, basing on which the analysis of main RNS properties was made. Based on the analysis of RNS properties, the principle of fundamental arithmetic operations implementation over the numbers, being represented in a coprime basis system, was reviewed.

The research of non-positional code structures in RNS repairing properties was made. Practical results of correcting capabilities of non-positional code have shown, that by satisfying certain conditions, introduction of a single control base allows not only to detect, but also to repair occurring errors. Contains analytical expressions to determine correcting capabilities of NCS.

The principles of RNS non-positional code structures verification were formulated. Based on the formulated verification principles, for the first time the method of data verification in residue classes was obtained, that compared to known ones is based on the principle of parallel nullification, by combining in time the nullification operations for NCS symmetrical residues under control and determining nullification constants, which in turn allows to boost data verification efficiency. This method, if compared to other existing methods, depending on the length of CSCIDP

computer word allows to boost data verification efficiency for up to 60%.

The method of RNS data verification was obtained for the first time, that when compared to a known one is based on the utilization of positional signs of a non-positional code structure through the process of parallel subtraction of earlier determined constants, which in turn allows data verification efficiency boost. In comparison to existing methods, it allowed to boost RNS data verification efficiency for up to 60%.

The method for increasing operative RNS data verification certainty was obtained for the first time, that is unlike known methods is based on the usage of positional signs of the non-positional code structure, by applying the corresponding base, divisible by general residue numeral system module, which in turn increases data control certainty. Given method allows increasing data control certainty depending on the value of control base up to 4%.

The method for the alternative set of the non-positional code structure determining in residue numeral system was improved, which involves the adherent function for the values of possible errors usage, by reducing amount of bases being controlled, that are being a part of alternative number set, which in turn boosts the data error verification efficiency. Implementation of the improved method allows increasing data error verification for up to 60% in comparison to existing methods.

The method for operative data diagnosis in residue classes numeral system was improved, which is based on formation of number intervals and signs of given quadrants of the alternative number set location, by folding the table of corresponding values of possible errors. The developed method allows boosting the efficiency of data error diagnostics for up to 19% depending on the value of the bit grid.

Key words: numeral system, numeral system in residue classes, non-positional code structure, computer systems and components of integer data processing, data control and verification, data verification reliability, numbers nullification, single-line code, parallel data processing.

Підп. до друку 02.04.19. Формат 60x84 1/16. Умов. друк. арк. 1,9.
Зам. № 2/19. Тираж 100 прим. Ціна договірна.

Віддруковано в типографії ФОП Андреев К.В.
61166, Харків, вул. Серпова, 4
Свідоцтво про державну реєстрацію
№24800170000045020 від 30.05.2003 р.
ep.zakaz@gmail.com
тел. 063-993-62-73