

В. А. Краснобаєв<sup>1</sup>, С. О. Кошман<sup>1</sup>, В. М. Курчанов<sup>2</sup>, Д. А. Зіневич<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна,

<sup>2</sup> Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

## ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ НЕПОЗИЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЧИСЛЕННЯ У КЛАСІ ЛИШКІВ І ЇХ ВПЛИВ НА СТРУКТУРУ ТА ПРИНЦИПИ РЕАЛІЗАЦІЇ АРИФМЕТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ

**Предметом** дослідження статті є методи обробки даних у комп'ютерній системі (КС), що функціонує у непозиційній системі числення у залишкових класах (СЗК). **Мета** статті – провести дослідження впливу всіх основних властивостей СЗК на структуру КС і принципи реалізації арифметичних операцій у СЗК. **Задачі**, що вирішуються у статті наступні. Формулювання та дослідження властивостей СЗК, а також отримання результатів впливу властивостей СЗК на структуру КС і принципи реалізації арифметичних операцій додавання, віднімання та множення. **Методи** дослідження: методи аналізу і синтезу комп'ютерних систем. Отримані наступні **результати**: узагальнено аналіз результатів дослідження властивостей СЗК, а також результат аналізу впливу властивостей СЗК на структуру і принципи реалізації арифметичних модульних операцій. **Висновки**. Результати дослідження впливу властивостей СЗК на структуру КС та принципи реалізації арифметичних операцій показали, що застосування СЗК дозволяє підвищити швидкодню виконання арифметичних операцій та підвищити відмовостійкість функціонування КС. Крім цього, застосування СЗК дозволяє створити унікальну систему контролю, діагностики і корекції помилок даних КС без зупинок обчислень, що не має аналогів в позиційній системі числення (ПЧ). Підвищення швидкодії реалізації арифметичних операцій у СЗК досягається за рахунок можливості організації паралельної обробки даних, а також за рахунок застосування табличного принципу реалізації арифметичних операцій. Використання властивостей СЗК обумовлює наявність у КС одночасно трьох видів резервування: структурного, інформаційного та функціонального. Це, у свою чергу, дозволяє підвищити відмовостійкість непозиційних обчислювальних структур у СЗК за рахунок застосування методів, заснованих на пасивній (постійне структурне резервування) і активній (структурне резервування заміщенням) відмовостійкості.

**Ключові слова:** комп'ютерна система, непозиційна система числення, система залишкових класів, швидкодія реалізації арифметичних операцій, відмовостійкість, надійність.

### Вступ

Сучасний етап розвитку науки і техніки відрізняється все більш складними завданнями, які вимагають свого вирішення. Однак складність задач, що вирішуються випереджає темпи наростання потужності універсальних ЕОМ. У цьому аспекті, основними напрямками вдосконалення обчислювальних систем обробки інформації (СОІ) в реальному часі є підвищення користувальницької продуктивності і безвідмовності функціонування, за рахунок забезпечення необхідного (заданого) рівня відмовостійкості.

**Аналіз літератури.** Залежно від прийнятих архітектурних рішень, всю безліч обчислювальних систем у позиційних системах числення (ПЧ), як правило в двійковій, можна розділити на чотири основні групи: так, застосування SISD-архітектури (одиначний потік команд і одиначний потік даних) забезпечує домінуюче становище у класичній Фоннеймановській архітектурі. У таких машинах обробка інформації відбувається послідовно, команди виконуються одна за одною, при цьому кожна команда ініціює, як правило, одну скалярну операцію. У цьому випадку використання паралельної роботи інтерфейсу введення-виведення інформації та процесора, суміщення операцій, що виконуються окремими блоками і вузлами арифметико-логічного пристрою, не дозволяють ефективно реалізувати паралельні обчислювальні системи реального часу. Отже, можливості щодо підвищення швидкодії сучасних позиційних ЕОМ, які базуються на класичній архітектурі послідовного виконання операторів,

практично досягли свого граничного значення; обчислювальні системи другої групи - MISD-архітектури (множинний потік команд і одиначний потік даних) великої практичної реалізації не отримали; ці задачі, в яких кілька процесорів могли б ефективно обробляти один потік даних, в науці і техніці поки невідомі; основу третьої групи обчислювальних систем становлять пристрої, розроблені на основі SIMD-архітектури (одиначний потік команд і множинний потік даних); використання SIMD-архітектури дозволяє реалізувати високошвидкісні СОІ реального часу; з їх допомогою ефективно вирішуються завдання векторних і матричних обчислень, завдання визначення коренів систем алгебраїчних і диференціальних рівнянь і т.д.; особливе місце займають завдання цифрової обробки сигналів, які є найбільш оптимальними для SIMD-структури. Дана архітектура обчислювальної системи орієнтована на паралельно-конвеєрне виконання найбільш працездатних обчислювальних операцій. Забезпечення граничної для даного рівня технології продуктивності обчислювальної системи можливо тільки за рахунок застосування нетрадиційної арифметики, в якій процес розпаралелювання здійснюється на рівні арифметичних операцій (мікрооперацій); альтернативним рішенням проблеми розв'язання задач підвищеної обчислювальної складності в реальному часі є застосування MIMD-архітектури (множинний потік команд і множинний потік даних). Цей клас припускає, що в обчислювальній системі є кілька пристроїв обробки команд, об'єднаних в єдиний комплекс і працюючих кожен зі своїм по-

током даних і команд (мультимікропроцесорні, багатомашинні, кластерні та інші подібні обчислювальні системи). Однак, незважаючи на всі переваги, зазначені вище, такі як наявність власної пам'яті у кожного процесорного елемента та незалежність обчислювального процесу, системи з масовим паралелізмом породили цілий ряд проблем, пов'язаних з описом і програмуванням комутацій процесів і управління ними. У той самий час відсутність математичного апарату, що дозволяє вирішити проблему підвищення продуктивності обчислювальних систем, є основним стримуючим фактором широкого застосування MIMD-систем з масовим паралелізмом.

Таким чином, очевидно, що подальший поступальний розвиток обчислювальної техніки і засобів обробки інформації у ПСЧ прямо пов'язаний з переходом до паралельних обчислень. Цей перехід, безумовно, відкриває нові можливості в галузі вдосконалення і розвитку обчислювальних пристроїв [1-24].

Резервами підвищення надійності, відмовостійкості та живучості функціонування, а також користувачької продуктивності обчислень є використання обчислювальних структур, спеціалізованих обчислювачів і спецпроцесорів, створених на принципі розпаралелювання задачі, що розв'язується (алгоритму) на рівні однієї мікрооперації.

Концепція паралелізму давно привертала увагу фахівців своїми потенційними можливостями підвищення продуктивності і надійності обчислювальних систем. Проведені теоретичні, експериментальні та промислові розробки в цьому напрямку дозволили обґрунтувати основні принципи побудови паралельних обчислювальних систем. Саме з подібними системами зв'язується в даний час перспектива подальшого нарощування обчислювальної потужності і надійності.

У 2005 році виповнилося 50 років від дати опублікування статті чеського інженера М. Валаха, в якій вперше була висунута ідея застосувати для операцій над комп'ютерними числами замість операцій кільця лишків за модулем  $M = 2^n$  операції кільця лишків за модулем  $M = m_1 m_2 \dots m_n$ , де  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – попарно взаємно-прості числа. У обчислювальній практиці це була видатна ідея, так як всі кільцеві операції по модулю  $M = m_1 m_2 \dots m_n$  зводилися до гомоморфної паралельної реалізації тих же операцій по малим модулям  $m_1, m_2, \dots, m_n$ . Відома китайська теорема про лишки, яка до цього трактувалася як структурна теорема абстрактної алгебри, гарантувала вказаний паралелізм в обчисленнях над цілими числами, за умови, що результат кільцевих операцій належить діапазону цілих чисел, який визначається добутком модулів  $M = m_1 m_2 \dots m_n$ . Ця ідея привернула увагу великої групи вчених. Виник новий науковий напрям – модулярна арифметика.

За минулі 50 років модулярна арифметика (система залишкових класів (СЗК), клас лишків) пережила періоди і бурхливого розвитку, і серйозних спадів. У даний час спостерігається прогресуюче

зростання інтересів до модулярної арифметики серед розробників складних систем, пов'язаних з обробкою сигналів і зображень, з криптографічними перетвореннями і т.п. [1, 3, 4].

Відомо, що непозиційна система числення у системі залишкових класів (система залишкових класів (СЗК)) застосовується у комп'ютерних системах (КС) для підвищення швидкодії реалізації цілочисельних арифметичних операцій [1-4]. Це зумовлено наявністю і впливом сукупностей властивостей СЗК як на структуру КС обробки даних, що представлені у цілочисловому виді, так і на принципи функціонування (система числення в більшій мірі впливає на принципи реалізації арифметичних операцій) КС [5-10]. В свою чергу структура і принципи функціонування КС впливають на характеристики обчислювальних систем.

Однак, існує ще ряд факторів впливу властивостей СЗК на структуру КС, а також на принципи реалізації арифметичних операцій. Використання результатів такого дослідження дає змогу більш повно і точно оцінити можливість практичного застосування непозиційних кодових структур (НКС) в обчислювальній техніці.

**Мета статі** – провести дослідження впливу всіх основних властивостей непозиційної системи числення на структуру КС і принципи реалізації арифметичних операцій у СЗК.

## Основна частина.

Утворення НКС  $A = (a_1 \| a_2 \| \dots \| a_n)$  у СЗК базується на використанні принципів паралельності та незалежності формування лишків  $a_i$ . Дані принципи обумовлюють три основні властивості СЗК. Проаналізуємо кожен з цих властивостей.

1. *Незалежність кожного лишку у структурі НКС СЗК.* Ця властивість дає змогу сформувати структуру КС у СЗК у вигляді сукупності (за числом  $n$  основ (модулів) СЗК) інформаційно незалежних малорозрядних обчислювальних трактів (ОТ), що функціонують незалежно один від одного та паралельно за часом.

При цьому зауважимо, що:

– у загальному випадку, час виконання КС у СЗК арифметичних операцій визначається часом виконання операцій за найбільшою розрядною сіткою ОТ;

– КС у СЗК має модульну конструкцію, що складається з окремих незалежних ОТ; це дозволяє здійснювати ремонт і технічне обслуговування, а також проводити операції контролю, діагностики та корекцію помилок даних в ОТ КС у СЗК без припинення процесу рішення задачі, тобто без зупинки обчислень;

– помилки, що виникають в ОТ КС за основою  $m_i$ , не «розмножуються» до інших ОТ; при цьому не має значення, чи мала місце в ОТ за основою  $m_i$  одноразова чи багаторазова помилка, або навіть сукупність помилок довжиною не більш значення  $[\log_2(m_i - 1) + 1]$  двійкових розрядів. Таким чином,

помилка, яка виникла у довільному ОТ КС за основою  $m_i$ , або збережеться в цьому ОТ до кінця обчислень, або в процесі подальших обчислень самоусунеться (наприклад, якщо помилкове значення лишку  $a_i$  за основою  $m_i$  першого числа множиться на нульовий лишок другого числа за цією ж  $m_i$  основою СЗК);

2. *Рівноправність лишків у НКС СЗК.* Довільний лишок  $a_i$  числа  $A = (a_1 \| a_2 \| \dots \| a_n)$  у СЗК містить інформацію щодо усього вихідного числа. Це дає можливість, за умови виконання нерівності  $m_i < m_j$ , програмними методами замінити ОТ КС за модулем  $m_i$ , що відмовив, на працездатний ОТ за модулем  $m_j$ , без зупинки рішення задачі.

Ця властивість обумовлює той факт, що структура КС у СЗК дає можливість без зупинки обчислень в процесі рішення задачі обмінюватися, на основі застосування програмних методів, такими характеристиками КС, як швидкодія виконання арифметичних операцій, точність виконання арифметичних операцій та надійність виконання арифметичних операцій. В цьому аспекті КС у СЗК може мати різну надійність функціонування в залежності від вимог, наприклад, до точності або швидкодії обчислень. Крім цього, структура КС у СЗК дозволяє організувати деградацію комп'ютерної системи. Це дає можливість (за умови, що відмовили означені елементи структури) продовжувати функціонування без однієї або декількох функцій КС, або продовжити функціонувати з погіршеною якістю, наприклад, зі зниження швидкодії, або зі зниженням точності обчислень тощо.

Використання першої та другої властивостей СЗК обумовлює наявність у КС одночасно трьох видів резервування: структурного, інформаційного та функціонального. Це, у свою чергу, дозволяє синтезувати математичні моделі відмовостійкості з більшою точною оцінкою необхідних характеристик КС.

3. *Малорозрядність лишків, сукупність яких визначає НКС у СЗК.* Ця властивість дозволяє суттєво підвищити швидкодію реалізації арифметичних операцій як за рахунок малорозрядності представлення лишків числа в СЗК, так і за рахунок можливості (на відміну від позиційних систем числення) застосування табличної арифметики; застосування методів табличної арифметики дозволяє реалізувати основні арифметичні операції у СЗК фактично за один такт роботи КС.

Малорозрядність лишків чисел в СЗК обумовлює широкий вибір варіантів системотехнічних рішень задач реалізації арифметичних модульних операцій, заснованих на наступних принципах:

- суматорний принцип (на основі застосування малорозрядних двійкових суматорів);
- табличний принцип (на основі використання елементів пам'яті);
- принцип кільцевого зсуву (на основі застосування регістрів зсуву).

На основі використання властивостей СЗК визначаються наступні (у порівнянні з позиційними

системами числення (ПСЧ)) переваги:

- можливість реалізації асинхронних арифметичних обчислень на рівні декомпозиції чисел, що підвищує швидкодію обчислень КС;
- можливість організації табличного (матричного) виконання арифметичних операцій і вибіркою результату модульної операції за один такт;
- можливість створення КС і компонент з ефективним виявленням і виправленням помилок без перерви в обчисленнях, а також можливість синтезу відмовостійких цифрових пристроїв;
- можливість створення системи контролю та корекції помилок у динаміці обчислювального процесу КС;
- забезпечення високої активної відмовостійкості обчислювальних структур на основі оперативної реконфігурації структури КС;
- можливість підвищення надійності КС за рахунок ефективного використання пасивної та активної відмовостійкості.

Сукупність властивостей СЗК обумовлює можливі напрямки її ефективного застосування. В першу чергу це:

- модульні та криптографічні цілочислові перетворення;
- обробка сигналів;
- обробка цілочислових даних великої (сотні та тисячі біт) розрядності у реальному часі;
- обробка великих масивів даних, що представлені у матричному вигляді;
- обробка даних в оптоелектронній й нейрокомп'ютерній науково-технічних областях;
- застосування СЗК для реалізації алгоритмів процесорів мобільного зв'язку, в яких потрібно забезпечити велику швидкодію обробки даних при незначному споживанні енергії; дійсно, алгоритми обробки даних процесорів мобільного зв'язку в основному складаються з арифметичних операцій складання і множення, таким чином, власне обставина відсутності переносів при виконанні арифметичних операцій у СЗК дає змогу знизити енергію, що споживається процесорами мобільного зв'язку.

Вплив властивостей СЗК на структуру та принципи реалізації арифметичних операцій складається у наступному:

1. Підвищення швидкодії реалізації арифметичних операцій обумовлюється паралельною структурою обробки даних у СЗК та використанням принципу табличного виконання основних арифметичних операцій.

2. Підвищення надійності, відмовостійкості та живучості КС можливо, по-перше, за рахунок використання властивості пасивної відмовостійкості, що апріорно існує у вихідній структурі КС, що функціонує у СЗК. В цьому випадку вихідна природна структура КС у СЗК має вигляд обчислювальної структури, що подібна штучному постійному структурному резервуванню у ПСЧ.

По-друге, підвищення надійності КС можливо за рахунок використання активної відмовостійкості (динамічного структурного резервування) обчислювальних структур у СЗК.

3. Використання першої та другої властивостей СЗК обумовлює більш ефективне, ніж у ПСЧ, одночасне застосування пасивної та активної відмовостійкості, що робить комп'ютерні компоненти КС апріорно більш пристосовані до контролю та діагностики помилок даних.

4. Вплив першої та другої властивостей СЗК обумовлює можливість структури до адаптації до режиму функціонування КС. Ця обставина дозволяє безпосередньо, в процесі обчислень, здійснювати операції обміну між надійністю функціонування КС, швидкістю реалізації арифметичних операцій і точністю рішення задачі.

### Висновки

Результати дослідження впливу властивостей СЗК на структуру КС та принципи реалізації арифметичних операцій показали, що застосування СЗК дозволяє підвищити швидкість виконання арифметичних операцій та підвищити відмовостійкість функціонування КС. Крім цього, застосування СЗК дозволяє створити унікальну систему контролю, діагностики і корекції помилок даних КС без зупинок обчислень, що не має аналогів в ПСЧ.

1. Підвищення швидкодії реалізації арифметичних операцій у СЗК досягається за рахунок можливості організації паралельної обробки даних, а також за рахунок застосування табличного принципу реалізації арифметичних операцій.

2. Використання властивостей СЗК обумовлює наявність у КС одночасно трьох видів резервування: структурного, інформаційного та функціонального. Це у свою чергу дозволяє підвищити відмовостійкість унепозиційних обчислювальних структур у СЗК за рахунок застосування методів, заснованих на пасивній (постійне структурне резервування) і активній (структурне резервування заміщенням) відмовостійкості.

3. Виявлено, що КС і компоненти у СЗК відносяться до обчислювальних структур, що легко контролюються та діагностуються. Ця особливість сприяє розробки методів ефективного контролю та діагностики даних у СЗК. Так, використання властивостей СЗК дає можливість створити унікальну систему контролю і корекції помилок даних без зупинок обчислень, що особливо важливо для КС, що функціонують у складі складних технічних систем реального часу.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Амербаев, В. М. Теоретические основы машинной арифметики: Алма-Ата, Наука, 1976. 324 с.
2. Торгашев, В. А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ: М., Сов. радио, 1973. 118 с.
3. Акушский, И. Я., Юдицкий Д. И. Машинная арифметика в остаточных классах: М., Радио и связь, 1968. 444 с.
4. Коляда А. П., Пак И. Т. Модулярные структуры конвейерной обработки цифровой информации: Минск, Университетское, 1992. 256 с.
5. Краснобаев В. А. и др. Методы повышения надежности специализированных ЭВМ систем и средств связи: Харьков, ХВВКИУ РВ, 1990. 172с.
6. Security and noise immunity of telecommunication systems: new solutions to the codes and signals design problem. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov: ASC Academic Publishing, Minden, Nevada, USA, 2017. 198 p.
7. Краснобаев В. А., Кошман С. 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.
8. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
9. Saravana, Balaji B., Mohamed, Uvaze Ahamed, Eswaran C. and Kannan R., (2019), "Prediction-based Lossless Image Compression", *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics (Springer)*, Vol. 30, No 1, pp.1749 – 17961, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5\\_161](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5_161)
10. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node, *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
11. Gomathi, B, Karthikeyan, N.K. and Saravana, Balaji B., (2018), "Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem", *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Vol. 13, Issue 1-3, pp. 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
12. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique". *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45. doi: <http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01>
13. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), "Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search", *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1, doi: <http://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i1/139577>
14. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
15. Кучук Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системи обробки інформації. – 2014. – № 7(123). – С. 93-96.
16. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
17. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. ЛуковаЧуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.

18. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), "The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
19. Sivaram, M., Porkodi, V., Mohammed, A.S., Manikandan V. Detection of Accurate Facial Detection Using Hybrid Deep Convolutional Recurrent Neural Network. *ICTACT Journal on Soft Computing*. 2019. Vol. 09, Issue 02. pp. 1844-1850.
20. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.
21. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137–145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>
22. Amin Salih M., Yuvaraj D., Sivaram M., Porkodi V. Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. Vol. 9, No 6. P. 1–6, DOI: <http://dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
23. ISCI'2017: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov: LAP Lambert Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, Germany, 2017. 216 p.
24. ISCI'2017: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov: ASC Academic Publishing, USA, 2017. 207 p.

Received (Надійшла) 12.02.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.03.2019

### Основные свойства непозиционной системы счисления в классе вычетов и их влияние на структуру и принципы реализации арифметических операций компьютерной системы

В. А. Краснобаев, С. А. Кошман, В. Н. Курчанов, Д. А. Зиневич

**Предметом** исследования статьи являются методы обработки данных в компьютерной системе (КС), которая функционирует в непозиционной системе счисления в остаточных классах (СОК). **Цель статьи** – провести исследование влияния всех основных свойств СОК на структуру КС и принципы реализации арифметических операций в СОК. **Задачи**, которые решаются в статье следующие. Формулировка и исследование свойств СОК, а также получение результатов влияния свойств СОК на структуру КС и принципы реализации арифметических операций сложения, вычитания и умножения. **Методы** исследования: методы анализа и синтеза компьютерных систем. Получены следующие **результаты**: обобщен анализ результатов исследования свойств СОК, а также результат анализа влияния свойств СОК на структуру и принципы реализации арифметических модульных операций. **Выводы**. Результаты исследования влияния свойств СОК на структуру КС и принципы реализации арифметических операций показали, что использование СОК приводит к повышению быстродействия выполнения арифметических операций и повышает отказоустойчивость функционирования КС. Кроме этого, применение СОК позволяет сделать уникальную систему контроля, диагностики и коррекции ошибок данных КС без остановки вычислений, что не имеет аналогов в позиционной системе счисления (ПСЧ). Повышение быстродействия реализации арифметических операций в СОК достигается за счет возможности организации параллельной обработки данных, а также за счет применения табличного принципа реализации арифметических операций. Использование свойств СОК обуславливает существование в КС одновременно трёх видов резервирования: структурного, информационного и функционального. Это, в свою очередь, позволяет повысить отказоустойчивость непозиционных вычислительных структур в СОК за счет применения методов, основанных на пассивной (постоянное структурное резервирование) и активной (структурное резервирование замещением) отказоустойчивости.

**Ключевые слова**: компьютерная система, непозиционной система счисления, система остаточных классов, быстродействие реализации арифметических операций, отказоустойчивость, надежность.

### The main properties of the non-positional numerical system in the class of residues and their influence on the structure and principles of the implementation of arithmetic operations of the computer system

V. Krasnobayev, S. Koshman, V. Kurchanov, D. Zinevich

The **subject** of the study of the article is the methods in the processing of data in a computer system (CS), which functions in a non-positional numeral system in residual classes (SRC). The **aim** of the article is to study the influence of all the main properties of a non-positional numerical system on the structure of the CS and the principles of implementing arithmetic operations in the SRC. The following **tasks** are solved in the article. Formulation and study of the properties of the SRC, as well as obtaining the results of the influence of the properties of the SRC on the structure of the CS and the principles of realization of arithmetic operations of addition, subtraction and multiplication. Research **methods**: methods of analysis and synthesis of computer systems. The following **results** are obtained: the analysis of the results of the study of the properties of the SRC was summarized, as well as the result of the analysis of the influence of the properties of the SRC on the structure and implementation principles of arithmetic modular operations. **Conclusions**. The results of the study of the influence of the properties of the SRC on the structure of the CS and the principles of the implementation of arithmetic operations have shown that the use of the SRC leads to an increase in the speed of performing arithmetic operations and increases the fault tolerance of the functioning of the CS. In addition, the use of SRC allows you to make a unique system of monitoring, diagnostics and data error correction of the CS without stopping the calculations, which has no analogues in the positional numeral system (PNS). Improving the performance of the implementation of arithmetic operations in the SRC is achieved due to the possibility of organizing parallel data processing, as well as through the use of the tabular principle of the implementation of arithmetic operations. The use of the properties of the SRC determines the existence in the CS at the same time of three types of redundancy: structural, informational and functional. This, in turn, allows to increase the fault tolerance of non-positional computing structures in the SRC through the use of methods based on passive (permanent structural redundancy) and active (dynamic structural redundancy) fault tolerance.

**Keywords**: computer system, non-positional numerical system, system of residual classes, speed of implementation of arithmetic operations, fault-tolerance, reliability.