

А. С. Янко, О. І. Крук

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

## МЕТОД ПРИСКОРЕНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МОДУЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ У СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБАХ НА ОСНОВІ РЕВЕРСИВНОГО КІЛЬЦЕВОГО ЗСУВУ

**Анотація.** У статті розроблено та досліджено метод прискореного виконання базових модульних операцій у системі залишкових класів (СЗК), що базується на використанні непозиційних кодових структур. Наукова новизна роботи полягає у впровадженні принципу реверсивного (зворотного) кільцевого зсуву, який дозволяє адаптивно обирати мінімальну траєкторію перетворення станів кільцевого зсувного регістра.

Доведено, що використання кільцевих регістрів забезпечує високий рівень апаратної надійності за рахунок спрощення логічного базису, а розроблений метод реверсивного зсуву додає до цього необхідну високу продуктивність, створюючи базу для побудови відмовостійких систем реального часу. На відміну від існуючих підходів, запропонований метод дозволяє скоротити тривалість циклу обробки інформації до 90% у випадках, коли значення операнда наближається до величини модуля. Доведено, що отриманий часовий ресурс може бути ефективно використаний для проведення процедур самодіагностики та повторних обчислень, що безпосередньо підвищує рівень відмовостійкості та достовірності функціонування СКЗОІ. Визначено математичні умови вибору напрямку зсуву та представлено функціональну схему операційного пристрою. Результати дослідження є актуальними для проектування високопродуктивних систем управління безпілотними платформами, де критично важливим є поєднання швидкодії з надійністю обчислювального процесу.

**Ключові слова:** система залишкових класів, непозиційна кодова структура, кільцевий регістр зсуву, реверсивний зсув, висока продуктивність, швидкодія, апаратна надійність, спеціалізовані комп'ютерні засоби обробки інформації.

### Вступ

Сучасний стан розвитку спеціалізованих комп'ютерних засобів обробки інформації (СКЗОІ), зокрема для безпілотних платформ [1, 2] та систем критичної інфраструктури, вимагає безперервного пошуку нових архітектурних рішень для підвищення їхньої продуктивності та надійності. Широке впровадження СКЗОІ в усі сфери державного управління та військової справи практично усуває вплив людського фактора на процеси контролю та управління складними технічними об'єктами [3]. Це ставить функціонування систем у повну залежність від надійності, відмовостійкості та достовірності засобів обробки інформації.

Широке впровадження СКЗОІ в усі сфери практично усуває вплив людського фактора на процеси контролю та управління складними технічними об'єктами, що ставить процес управління в повну залежність від надійності та достовірності засобів обробки інформації, насамперед для БПЛА.

Дана обставина обумовлює необхідність розробки принципово нових методів підвищення відмовостійкості.

Сучасна тенденція розвитку СКЗОІ спрямована на збільшення довжини машинного слова (зокрема використання 64-розрядних сіток у системах реального часу), де недоліки позиційних систем виявляються особливо гостро [4, 5].

Одним із найбільш перспективних напрямків у цій галузі є використання непозиційних кодових структур системи залишкових класів (СЗК), що дозволяє реалізувати паралельну обробку даних на рівні окремих модулів без міжрозрядних зв'язків [6]. Застосування непозиційних кодових структур системи СЗК дозволяє суттєво підвищити ефективність

засобів обробки цифрової інформації завдяки незалежності залишків за обраною системою основ.

Малорозрядність залишків у СЗК відкриває широкі можливості для вибору варіантів системотехнічних рішень при реалізації базових операцій [7]. Аналіз наукових джерел дозволяє виокремити чотири основні принципи реалізації арифметичних операцій у модульних кодах:

1. Суматорний принцип — на базі малорозрядних двійкових суматорів.

2. Табличний принцип — на основі використання ПЗП або матричних схем.

3. Прямий логічний принцип — заснований на описі операцій системами перемикальних функцій (реалізується на ПЛІС або програмованих логічних матрицях).

4. Принцип кільцевого зсуву — заснований на використанні кільцевих регістрів зсуву (КРЗ).

Суматорний варіант реалізації модульних операцій має низку критичних недоліків:

– складність синтезу та великий час перетворення інформації для значних розрядних сіток;

– неефективне використання двійкових елементів через надмірність щодо величини основ;

– низька достовірність обчислень за рахунок виникнення помилок у процесі міжрозрядних переносів.

Головною перевагою табличного принципу є повна відсутність переносів між розрядами операційного пристрою (ОП), що кардинально відрізняє їх від традиційних позиційних систем числення (ПСЧ) [8]. У ПСЧ наявність міжрозрядних зв'язків обмежує швидкодію, ускладнює апаратуру та знижує загальну надійність через можливість лавиноподібного поширення помилок переносу. Однак для досить великої розрядної сітки СКЗОІ (для великих

за величиною модулів СЗК) при табличному принципі різко збільшується кількість обладнання ОП.

У цьому контексті особливої актуальності набуває проміжний варіант реалізації арифметичних операцій у СЗК, заснований на застосуванні принципу кільцевого зсуву шляхом використання КРЗ. Використання матричних схем [9] у поєднанні з КРЗ дозволяє створювати пристрої з низьким енергоспоживанням та підвищеними показниками надійності.

Проте традиційні методи кільцевого зсуву потребують значної кількості тактів при великих значеннях модуля.

Розробка методу прискореної реалізації модульних операцій на основі реверсивного кільцевого зсуву дозволить мінімізувати кількість кроків обробки, забезпечуючи максимальну швидкість виконання операцій додавання та віднімання при збереженні високого рівня відмовостійкості системи.

### Теоретичне обґрунтування та метод реверсивного кільцевого зсуву

В основі реалізації модульних операцій за допомогою кільцевих регістрів лежить відома теорема Келі, яка встановлює ізоморфізм між елементами скінченної абелевої групи та елементами групи підстановок.

Нехай  $G$  – циклічна група (порядок якої дорівнює  $m$ ) з елементами  $\{g_0, g_1, \dots, g_{m-1}\}$ , де  $g_0$  – нейтральний елемент.

У цьому випадку матриця додавання порядку  $m$  задається таблицею Келі (табл. 1).

Таблиця 1 – Таблиця Келі для довільного модуля  $m$

$\beta_i$	$a_i$				
	0	1	2	...	$m_i - 1$
0	0	1	2	...	$m_i - 1$
1	1	2	3	...	0
2	2	3	4	...	1
...	...	...	...	...	...
$m_i - 1$	$m_i - 1$	0	1	...	$m_i - 2$

Перший операнд  $a_i$  вказує на номер розряду КРЗ, що визначає результат модульної операції, а другий операнд  $\beta_i$  – на необхідну кількість тактів зсуву вмісту розрядів регістра.

Очевидно, що застосування принципу кільцевого зсуву суттєво підвищує достовірність виконання арифметичної операції модульного додавання завдяки усуненню помилок, які могли б виникнути як у процесі формування результату, так і внаслідок поширення міжрозрядних переносів, через їхню повну відсутність (аналогічно табличному принципу).

Слідством теореми Келі є висновок про те, що відображення групи  $G$  на групу всіх цілих чисел є

гомоморфним. Це дозволяє розглядати циклічний зсув вмісту КРЗ як відображення деякої множини  $M$  у себе:

$$f : M \rightarrow M.$$

Для скінченних множин класи відображень (ін'єкція, бієкція, сюр'єкція) збігаються. Якщо оперувати не елементами множини, а їх номерами, то зсув вмісту КРЗ представляється як бієкція множини на себе у вигляді перестановки:

$$\pi = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots & m-1 \\ 1 & 2 & 3 & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Будь-яка модульна

$$A \pm B(\text{mod } m)$$

може бути інтерпретована як степінь  $z$  такого перетворення. При цьому перший операнд  $A$  вказує на номер початкового розряду КРЗ, а другий операнд  $B$  визначає необхідну кількість тактів зсуву вмісту регістрів.

Операція додавання в  $R$  множині СЗК, породжених ідеалом  $J$ , утворює кільце СЗК  $R/J$ . Його можна представити у вигляді  $z/m_i$ , де  $z$  – множина цілих чисел  $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , а  $m_i$  – основа СЗК. Якщо основа  $m_i$  є простим числом, то таке кільце є полем  $GF(m_i)$ . Дана обставина обумовлює можливість реалізації арифметичної операції додавання в модульній арифметиці без міжрозрядних переносів шляхом використання принципу кільцевого зсуву за допомогою КРЗ.

На рис. 1 представлена вихідна інформаційна структура вмісту КРЗ для методу прямого зсуву.

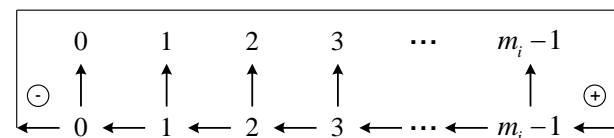


Рис. 1. Вихідна інформаційна структура вмісту КРЗ для методу прямого зсуву

Розглянемо приклад, де  $m = 5$ . У цьому випадку таблиця значень модульної  $A + B(\text{mod } m)$  для кільця СЗК подається у вигляді числових даних, наприклад, першого рядка (стовпця) таблиці Келі (табл. 1), а на рис. 1 знаком «+» позначено додатний (проти годинникової стрілки) напрямок зсуву вмісту розрядів КРЗ.

Залежно від форми представлення вмісту розрядів КРЗ, виокремлюємо два методи технічної реалізації пристрою:

1. Метод двійкового позиційно-залишкового кодування: вміст КРЗ представляється у стандартному двійковому коді, що мінімізує кількість ліній зв'язку.

2. Метод унітарного позиційного кодування: кожному значенню залишку відповідає окремий розряд регістра, що забезпечує максимальну швидкодню та простоту дешифрації результату.

### Метод реверсивного кільцевого зсуву для реалізації модульних операцій

У СЗК операнд  $A$  представляється набором залишків  $\{a_i\}$  від розподілу його за набір простих (загалом взаємно попарно простих) чисел  $\{m_i\}, i = 1, n$ , що становить поле Галуа і є прямою сумою своїх підполів, тобто цей набір залишків можна ототожнити безпосередньо із сумою  $n$ -полів Галуа  $\sum_{i=1}^n GF(m_i)$  [10].

Під ступенем перетворення  $z$  – показника оператора кільцевого зсуву (ПОКЗ) в даній статті розуміємо добуток  $\varphi^z$ , тобто  $\underbrace{\varphi^0 \varphi^0 \dots \varphi^0}_z$ , де  $\varphi^0 = \varepsilon$  – перетворення, яке всі елементи множини  $\{a_i\}$  (вміст регістрів КРЗ) залишає на вихідному місці.

Оскільки зсув вмісту КРЗ можна здійснювати як у додатному, так і у від’ємному напрямках, то для довільних перестановок (або циклічних зсувів) поняття степеня  $z$  можна узагальнити на випадок цілих від’ємних чисел  $\varphi^{-z}$ , тобто

$$\underbrace{\varphi^{-1} \varphi^{-1} \dots \varphi^{-1}}_z = (\varphi^z)^{-1}.$$

Зазначимо, що для кожної перестановки  $\varphi \in S(M)$  ( $M$  – скінченна множина) знайдеться таке натуральне  $S$ , що  $\varphi^S = \varepsilon$ .

Вочевидь, що у разі використання принципу кільцевого зсуву  $\varphi^{m_i} = \varepsilon$ , де  $m_i$  – порядок перестановки  $\varphi$ .

Ступені циклічної перестановки  $(P_0 P_1 \dots P_{n-1})$  вихідного вмісту КРЗ (при двійковому поданні об’єктів)

$$P_{m_i} = [\log_2(m_i - 1) + 1]$$

можна визначити за формулами:

$$\begin{cases} (P_0 \| P_1 \| \dots \| P_{n-1})^z = (P_z \| P_{z+1} \| \dots \| P_{n-1} \| P_0 \| \dots \| P_{z-1}); \\ (P_0 \| P_1 \| \dots \| P_{n-1})^{-z} = (P_{n-z} \| P_{n-z+1} \| \dots \| P_0 \| P_1 \| \dots \| P_{n-z-1}); \\ (P_0 \| P_1 \| \dots \| P_{m_i})^{m_i} = \varepsilon. \end{cases} \quad (1)$$

Зазначені властивості структури поля  $GF(m_i)$  вираховувати свідчать про те, що будь-яка модульна операція додавання або віднімання може бути інтерпретована як циклічна перестановка елементів множини  $M$ .

В апаратному аспекті це дозволяє реалізувати обчислювальний процес за допомогою кільцевих регістрів зсуву, де результат операції визначається кількістю тактів зсуву, що відповідає значенню операнда.

Однак традиційна реалізація передбачає рух вмісту регістра лише в одному (прямому) напрямку. Це призводить до того, що для великих значень операнда  $A$ , який наближається до значення модуля  $m_i$ , кількість тактів обробки стає  $(t \rightarrow m_i - 1)$ , що суттєво обмежує швидкість спеціалізованих комп’ютерних засобів обробки інформації.

Враховуючи симетрію циклічної групи та можливість узагальнення степеня перетворення на випадок від’ємних чисел, доцільно впровадити принцип реверсивного (зворотного) кільцевого зсуву.

Наукова ідея методу полягає в тому, що для будь-якого елемента поля існує два шляхи досягнення цільового стану регістра:

1. Прямий шлях — через виконання  $k$  кроків зсуву.

2. Реверсивний шлях — через виконання  $m_i - k$  кроків у протилежному напрямку.

Один з способів підвищення швидкості виконання операції модульного додавання (віднімання) є метод реверсивного шляху, заснований на властивості наступної тотожності:

$$(a_i + \beta_i) = [a_i - (m_i - \beta_i)] \bmod m_i, \quad (2)$$

тобто зсув вмісту кільцевих регістрів зсуву можна здійснити як у позитивну, так і в негативну сторону (для рис. 2, де операції модульного додавання ПОКЗ подаються у вигляді:

$$z = \begin{cases} +\beta_i, & \text{если } 0 \leq \beta_i \leq (m_i - 1)/2; \\ -(m_i - \beta_i), & \text{если } (m_i + 1)/2 \leq \beta_i \leq m_i - 1, \end{cases} \quad (3)$$

а для операції модульного віднімання ПОКЗ подається у вигляді:

$$z = \begin{cases} +\beta_i, & \text{если } 0 \leq \beta_i \leq (m_i - 1)/2; \\ +(m_i - \beta_i), & \text{если } (m_i + 1)/2 \leq \beta_i \leq m_i - 1. \end{cases} \quad (4)$$

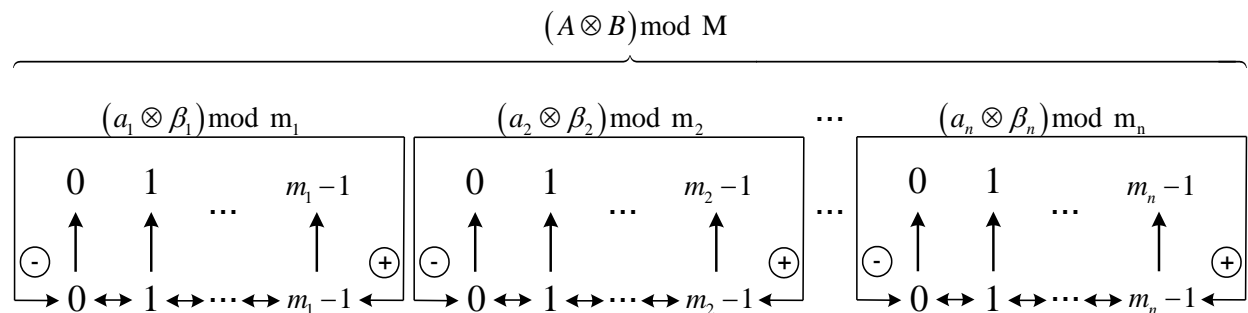


Рис. 2. Функціональна схема операційного пристрою СКЗОІ в СЗК

Для реалізації операцій додавання (віднімання)  $(a_i \pm b_i) \bmod m_i$  вибір кількості тактів  $N$  та напрямку зсуву  $D$  здійснюється за наступним:

$$N = \begin{cases} A, & \text{якщо } A \leq \frac{m}{2} \text{ (прямий зсув)} \\ m - A, & \text{якщо } A > \frac{m}{2} \text{ (реверсивний зсув)} \end{cases}. \quad (5)$$

Таким чином, для мінімізації часових витрат необхідно здійснювати адаптивний вибір напрямку зсуву на основі порівняння величини операнда з половиною значення модуля.

Це дозволяє обмежити максимальну кількість тактів обробки значенням  $\frac{m}{2}$ , що в середньому вдвічі прискорює виконання модульних операцій, а у випадках, коли операнд близький до модуля — забезпечує прискорення до 90%.

### Висновки

У роботі запропоновано та науково обґрунтовано метод прискореної реалізації модульних операцій у спеціалізованих комп'ютерних засобах обробки інформації, що базується на використанні непозиційних кодових структур системи залишкових класів.

Встановлено, що використання реверсивного (зворотного) кільцевого зсуву дозволяє подолати головний недолік традиційних пристроїв на основі кільцевих регістрів зсуву – лінійну залежність часу виконання операції від величини операнда.

Завдяки адаптивному вибору найкоротшої траєкторії зсуву (прямої або реверсивної) вдалося обмежити максимальну кількість тактів обробки значенням  $\frac{m}{2}$ .

Доведено, що впровадження запропонованого методу дозволяє скоротити тривалість циклу виконання модульних операцій додавання та віднімання в середньому у два рази, а для операндів, величини яких наближаються до значення модуля — до 90%. Використання кільцевих регістрів забезпечує високий рівень апаратної надійності за рахунок спрощення логічного базису, а розроблений метод додає до цього необхідну високу продуктивність, створюючи базу для побудови відмовостійких систем реального часу.

Запропонована функціональна схема. Запропонована функціональна схема операційного пристрою спеціалізованих комп'ютерних засобів обробки інформації забезпечує високу швидкість обробки

даних при збереженні ключових переваг систем залишкових класів: відсутності міжрозрядних зв'язків та високої відмовостійкості обчислювального процесу.

Отриманий часовий ресурс може бути використаний для проведення процедур самодіагностики та контрольних обчислень, що є критично важливим для систем, які працюють у реальному часі.

Використання запропонованого підходу дозволяє суттєво підвищити достовірність визначення результату за рахунок повного усунення міжрозрядних переносів (аналогічно табличному принципу), але при значно менших апаратних витратах для великих модулів.

Практична значущість результатів полягає у можливості створення енергоефективних обчислювальних модулів для бортових систем безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та автономних роботизованих платформ.

Оскільки метод базується на використанні простих кільцевих регістрів, він є ідеальним для реалізації на сучасній елементній базі (ПЛИС/FPGA), забезпечуючи баланс між мінімальними витратами апаратних ресурсів та максимальною продуктивністю.

Подальші дослідження будуть спрямовані на:

1. Розширення принципу реверсивного зсуву на операції модульного множення з використанням табличних методів та логарифмічних перетворень у СЗК.

2. Розробку алгоритмів автоматичного контролю та виправлення помилок у структурі кільцевих регістрів зсуву безпосередньо під час виконання зсуву, що дозволить ще більше підвищити надійність функціонування критичних інформаційних систем.

3. Інтеграцію розроблених пристроїв у склад складних ієрархічних систем управління для забезпечення національної цифрової резильєнтності.

### Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

### Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лактіонов, О., Педченко, Н., Янко, А., & Боряк, Б. (2024). Моделювання базової конструкції робототехнічної платформи. *Measuring and computing devices in technological processes*, (3), 95–99. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-79-13>
2. Yanko, A., Pedchenko, N., & Kruk, O. (2024). Enhancing the protection of automated ground robotic platforms in the conditions of radio electronic warfare. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 136–142. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-6/136>
3. Попов, М., Комаровський, І., & Яценко, В. (2023). Інформаційні системи та технології в публічному управлінні. *Теоретичні та прикладні питання державотворення*, (30). <https://doi.org/10.35432/tisb302023294963>

4. Bo, L., Ruifeng, Z., Jiangang, L., Wenxin, G., & Yang, L. (2021). Control on abnormal data overflow of distribution network management platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 1748(3), 032064. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1748/3/032064>
5. Meakin, R. L. (2000). Adaptive spatial partitioning and refinement for overset structured grids. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 189(4), 1077–1117. [https://doi.org/10.1016/S0045-7825\(99\)00369-2](https://doi.org/10.1016/S0045-7825(99)00369-2)
6. Mohan, P. V. A. (2016). *Residue number systems: Theory and applications*. Birkhäuser Basel; Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41385-3>
7. Salnikov, D., Karaman, D., & Krylova, V. (2023). Highly reconfigurable soft-CPU based peripheral modules design. *Advanced Information Systems*, 7(2), 92–97. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.13>
8. Yanko, A. S., Krasnobayev, V. A., & Kovalchuk, D. M. (2022). Methods for tabular implementation of arithmetic operations of the residues of two numbers represented in the system of residual classes. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4), 18–27. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-4-2>
9. Han, S., Ge, Y., Shi, Y., & Yi, R. (2026). A Fast Method for Estimating Generator Matrixes of BCH Codes. *Electronics*, 15(1), 244. <https://doi.org/10.3390/electronics15010244>
10. Kavun, S. (2015). Conceptual fundamentals of a theory of mathematical interpretation. *International Journal of Computing Science and Mathematics*, 6(2), 107–121. <https://doi.org/10.1504/IJCSM.2015.069459>

Received (Надійшла) 21.01.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.04.2026

Publication date (Дата публікації) 22.05.2026

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Янко Аліна Сергіївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій і систем Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна;

**Alina Yanko** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer and Information Technologies and Systems of the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine;

e-mail: [al9\\_yanko@ukr.net](mailto:al9_yanko@ukr.net); ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-2876-9316>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57094953000>.

**Крук Олег Іванович** – аспірант кафедри автоматичної електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна;

**Kruk Oleg** – PhD student, Department of Automation, Electronics and Telecommunications of the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine;

e-mail: [olegkruk1975@gmail.com](mailto:olegkruk1975@gmail.com); ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0004-4241-2676>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59172145800&origin=recordpage>.

#### Method of accelerated implementation of modular operations in specialized computer tools based on reverse cyclic shift

Alina Yanko, Kruk Oleg

**Abstract.** The article develops and scientifically substantiates a method for the accelerated execution of basic modular operations (addition and subtraction) in the Residue Number System (RNS), based on the use of non-positional code structures. The relevance of the study is driven by the need to increase the performance of specialized computer information processing tools (SCRIPT) under conditions of intensive data bit-depth growth and increasing reliability requirements for control systems of unmanned aerial vehicles and robotic platforms. The scientific novelty of the work lies in the implementation of the reverse (backward) cyclic shift principle, which allows for the adaptive selection of the minimum transformation trajectory of the cyclic shift register (CSR) states. It has been established that the traditional implementation of modular operations based on the cyclic shift principle is characterized by a linear dependence of the computation time on the operand value, leading to significant delays at large modulus values. The proposed method negates this drawback by analyzing the input operand and comparing it with half the modulus value. If the operand value exceeds half the modulus, the system automatically initiates a shift in the opposite (reverse) direction, which significantly reduces the number of processing cycles required. It is mathematically proven that the maximum number of shift steps in such an approach does not exceed  $\lfloor m/2 \rfloor$ , where  $m$  is the base of the residue number system. This allows for reducing the duration of the computational cycle by an average of two times, and in boundary cases where the operand approaches the modulus value — by up to 90%. It is proven that the use of cyclic registers ensures a high level of hardware reliability due to the simplification of the logical basis and the complete absence of complex inter-bit carry chains inherent in positional number systems. Special attention in the article is paid to the issue of fault tolerance. It is shown that the time resource freed up as a result of the calculation acceleration can be effectively used for background self-diagnosis procedures of the hardware and for performing repeated (control) calculations. This directly increases the reliability level of the SCRIPT functioning without involving additional hardware costs. A functional diagram of the operating device based on a CSR with a controlled shift direction has been developed, creating a basis for building fault-tolerant real-time systems. The results obtained are a fundamental basis for the further design of energy-efficient computing modules, where the combination of maximum performance with the reliability of information processing in a non-positional code basis is critically important.

**Keywords:** residue number system, non-positional code structure, cyclic shift register, reverse shift, high performance, operating speed, hardware reliability, specialized computer information processing tools.