

УДК 004.67+519.725

Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, М. А. Очкуров, О. Ю. Войналович

## ВЛАСТИВОСТІ ОДИНИЧНОГО КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У КОНТЕКСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Анотація.** Особливо гостро вирішення задачі функціонального контролю існує для забезпечення завадостійкості не тільки при передачі масивів даних, але й при спрацюванні пристроїв керування у складі бортових систем мобільних засобів. Так, у пристроях керування, по-перше, необхідно вловити момент виникнення так званої «гонитви сигналів», що може призвести до збою у його спрацюванні, а, по-друге, виправити цю помилкову ситуацію у реальному часі, щоб забезпечити ефективну роботу всієї системи. У цьому сенсі важливими є аналіз властивостей контролю у тих методах кодування інформації, що використовуються у процесі абстрактного синтезу пристроїв керування конкретного типу. У статті розглядається варіант використання одиничного позиційного коду для синтезу блока керування на базі мікропрограмного R-автомата, особливістю якого є побудова його запам'ятовувальної частини на регістрі зсуву. Еквідистантність як властивість одиничного позиційного коду дозволяє визначити помилкову ситуацію, коли замість одного одиничного розряду у кодовому слові в наявності два сусідніх одиничних розряди. Така ситуація є ознакою помилки типу «гонитви сигналів» у спрацюванні пристрою керування. У статті запропоновано функціональні схеми двох вузлів: вузла виявлення помилки, що містить (N-1) елементів І та багатовхідний елемент АБО, а також вузла виправлення помилки, що містить (N-1) елементів НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ, де N – розрядність регістра зсуву. Показано, як ці вузли вбудовано у мікропрограмний R-автомат. При цьому поява сигналу помилки Error на виході вузла виявлення помилки використовується для виправлення помилки у кодовій комбінації на виходах регістра зсуву. Отже, такі властивості одиничного позиційного коду, як надлишковість та еквідистантність, дозволяють усунути збій у спрацюванні пристрою керування на базі мікропрограмного R-автомата, враховуючи специфічність подання сусідніх кодових комбінацій цього коду.

**Ключові слова:** функціональний контроль, мікропрограмний автомат, одиничний позиційний код.

**Abstract.** A particularly acute solution to the problem of functional control exists to ensure immunity not only during the transmission of data arrays, but also during the activation of control devices as part of on-board systems of mobile vehicles. So, in control devices, firstly, it is necessary to catch the moment of the occurrence of the so-called «race signals» that can cause it to fail, and secondly, to correct this erroneous situation in real time to ensure the efficient operation of the entire system. In this sense, it is important to analyze the properties of control in those methods of information coding used in the process of abstract synthesis of control devices of a specific type. The article considers the option of using a unit positional code for the synthesis of a control unit based on a microprogram R-automaton, the feature of which is the construction of its memory part on a shift register. Equidistance as a property of a unit positional code allows you to identify an erroneous situation, when instead of one single digit, there are two neighboring single digits in the code word. Such a situation is a sign of an error of the «race signals» type in the operation of the control device. The article proposes functional schemes of two nodes: an error detection node containing (N-1) AND elements and a multi-input OR element, and an error correction node containing (N-1) INEQUALITY elements, where N – is the bit number of the shift register. It is shown how these nodes are built into the microprogram R-automaton. At the same time, the appearance of the Error signal at the output of the error detection node is used to correct the error in the code combination at the outputs of the shift register. Therefore, such properties of a unit positional code as redundancy and equidistance allow to eliminate a failure in the operation of the control device based on the microprogram R-automaton, taking into account the representation specificity of neighboring code combinations of this code.

**Key words:** functional control, microprogram automaton, unit positional code.

**DOI:** <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-57-2-43-49>.

### Вступ

Функціональний контроль при будь-якому кодуванні інформації, який забезпечує не тільки виявлення, але й одночасне виправлення помилок, відіграє важливу роль при кодуванні, а також при передачі та прийманні масивів даних [1-3]. Особливо важливе значення функціональний контроль [2-4] займає в процесі як синтезу пристроїв керування, так і при їх функціонуванні через можливість виникнення непередбачуваного збою.

### Актуальність тематики

Методи та засоби функціонального контролю в першу чергу залежать від способу кодування інформації [1, 4-7]. Так, для специфічного коду Фібоначчі запропоновано узагальнений вигляд схеми функціонального контролю, який може бути застосований для інших альтернативних способів кодування [2]. Такий підхід, що дозволяє виявити помилку у кодовій комбінації, може бути застосований, наприклад, до одиничного позиційного коду [8-10].

Як наочний приклад при цьому доцільно показати варіант використання одиничного позиційного кодування станів мікропрограмного автомата (МПА) на базі R-автомата [11, 12]. Такий МПА є базовою частиною пристрою керування для бортових систем різного призначення [13-14]. Крім того, особливо актуальним є такий підхід побудови для пристроїв керування у складі мобільних роботів, оскільки у даному випадку необхідно не тільки виявити збій у його спрацюванні, але й виправити його у реальному часі.

### Мета

Метою роботи є аналіз властивості функціонального контролю одиничного кодування інформації та її використання для побудови конкретного типу пристроїв керування.

### Постановка завдання

У статтях [9, 10] розглянуто властивості одиничних кодів і зокрема, одиничного позиційного коду, а також місце, яке займають одиничні коди серед відомих способів кодування інформації [15, 16]. Так, обраний для дослідження одиничний позиційний код можна представити матрицею кодування десяткових цифр [17] у такий спосіб:

$$D_{10}^{10} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де рядки матриці є кодами десяткових цифр  $a_i \in \{0, \dots, 9\}$ , а стовпці відповідають двійковим розрядам  $j \in \{0, \dots, 9\}$  кожного коду цифри  $a_i$  [8].

Отже, одиничний позиційний код є кодом з надлишковістю інформаційних позицій (розрядів), оскільки кількість розрядів кожної кодової комбінації співпадає з основою числення  $r$ . У даному випадку  $r = 10$  як це видно з виразу матриці кодування (1). Це пов'язано з тим, що ваги всіх  $n = 10$  розрядів коду являють собою нуль і натуральний ряд чисел, а отже, їх співвідношення має такий вигляд:

Нумерація розрядів	1 2 3 ... 10,
Значення ваги	0 1 2 ... 9,

що свідчать про позиційний принцип подання десяткових цифр у даному випадку.

У статтях [10, 15] досліджено одиничний позиційний код за такими ознаками, зокрема, як еквідистантність, теоретична контролездатність, контролездатність за модифікованою перевіряльною матрицею, надлишковість. А це, у свою чергу, дозволяє визначити завадостійкість та реальну контролездатність цього способу кодування, оскільки саме надлишковість у розрядах цього коду приводить до підвищення його реальної контролездатності у порівнянні з теоретичною [15].

Крім того, одиничний позиційний код має просте синдромне декодування за аналогією з кодом Хеммінга [15], оскільки відхилення у позиціях (розрядах) сформованого синдрому у порівнянні з правильним синдромом вказує на конкретну помилкову позицію у поточному кодовому слові. Цю властивість одиничного позиційного коду доцільно використати не тільки для виявлення, але й для виправлення помилки. Для цього у статті [18] запропоновано схему функціонального контролю для одиничного позиційного коду (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема функціонального контролю для одиничного позиційного коду

На відмінну від відомої узагальненої схеми функціонального контролю [2], яку розроблено для кодів Фібоначчі, схема на рис. 1 не містить контрольний регістр, а сформований сигнал про наявність помилки використовується як сигнал керування для її виправлення у відповідній кодовій комбінації [18]. Отже, завадостійкість і контролездатність одиничного позиційного коду дозволяє визначити області його пріоритетного застосування, в першу чергу, для кодування станів МПА у пристроях керування та адресації інформації у запам'ятовувальних пристроях обчислювальної техніки [18].

### Особливості структурної організації мікропрограмного R-автомата

У статті [18] показано, що найбільш доцільним є використання властивостей контролездатності одиничного позиційного коду для кодування станів мікропрограмних R-автоматів як базової структури пристрою керування для бортових систем. Для таких пристроїв керування важливими є такі характеристики, як компактність конструкції, швидкодія та завадостійкість спрацювання. При цьому необхідно, щоб була можливість не тільки виявляти причини збою у роботі пристрою керування, але й усунення наслідків цієї причини у реальному часі.

Отже, особливістю синтезу МПА як R-автомата є структура його запам'ятовувальної частини, яку побудовано на регістрі зсуву на відміну від використання тригерів (T-автомат) або лічильників (СТ-автомат) [11, 12]. В результаті інформаційний регістр у схемі функціонального контролю (рис. 1) розглядається як регістр зсуву.

На рис. 2 подано узагальнену структуру МПА на базі R-автомата [19], в яку введено функціональні схеми двох вузлів: вузла виявлення помилки і вузла виправлення помилки. МПА крім регістра зсуву і двох доданих вузлів функціонального контролю містить два блоки елементів АБО, блок елементів І та багатовхідний елемент АБО.

Вхідними сигналами для  $N$ -розрядного регістра зсуву є такі сигнали керування та встановлення: Reset – скидання; Set – встановлення у початковий (одиничний) стан; Clock – синхронізації. Входи  $S_0, S_1$  регістра зсуву є входами встановлення двох режимів:  $S_0 = 1, S_1 = 0$  – режим зсуву у бік старших розрядів,  $S_0 = 1, S_1 = 1$  – режим паралельного запису за інформаційними входами  $D_1, \dots, D_N$  регістра зсуву.

Для МПА вхідними є сигнали умовних переходів  $x_1, \dots, x_L$ , а вихідними є сигнали керування  $u_1, \dots, u_K$ . Крім того, на виході вузла виявлення помилки формується сигнал Error. Кількість розрядів  $Q_1, \dots, Q_N$  регістра зсуву визначається максимальною кількістю неповторних станів автомата Мура на лінійному ланцюгу граф-схеми алгоритму (ГСА), що реалізується автоматом Мура на етапі абстрактного синтезу МПА [11, 12].

Отже, оскільки МПА реалізує автомат Мура з кодуванням своїх станів з використанням одиничного позиційного коду вигляду (1), то в процесі функціонування МПА необхідно виконати зсув одиничного коду в регістрі зсуву на один розряд у бік старших розрядів таким чином, що за час виконання алгоритму, який представлено відповідним лінійним ланцюгом ГСА, одиниця від першого розряду  $Q_1$  регістра зсуву послідовно проходить через усі його розряди.

В результаті, на будь-якому переході, що належить лінійному ланцюгу, а також за умови, що стани лінійного ланцюга слідує один за одним у порядку зростання індексів станів, тобто, у вигляді  $a_i, a_{i+1}, \dots, a_{i+j}$ , де  $i, j = 0, 1, 2, 3, \dots$ , код нового стану автомата Мура утворюється шляхом зсуву коду поточного стану на один розряд у бік старших розрядів регістра зсуву. У всіх інших випадках, а також при переходах між виходами і входами лінійних ланцюгів в автоматі Мура виконується паралельне встановлення коду нового стану і обнуління коду поточного стану в регістрі зсуву шляхом збудження та обнуління його відповідних інформаційних входів  $D_i, \dots, D_{i+j}$ .

Таким чином, багатовхідний елемент АБО задіяно в обох випадках, оскільки він формує за потреби два сигнали: сигнал керування зсувом у бік старших розрядів регістра зсуву і сигнал дозволу запису за його паралельними інформаційними входами, а блок елементів АБО – тільки в другому випадку, оскільки він формує сигнал керування для встановлення в одиничний стан і обнуління відповідних розрядів регістра зсуву. Блок елементів І є перетворювачем кодів станів регістра зсуву і вхідних сигналів  $x_1, \dots, x_L$  у відповідні сигнали збудження, а вихідний блок елементів АБО формує вихідні сигнали  $u_1, \dots, u_K$  на виходах пристрою відповідно.

Перед початком роботи МПА відбувається обнуління регістра зсуву за сигналом Reset, а початковим станом регістра зсуву є такий стан, коли присутній одиничний сигнал  $Q_1$  на виході його першого розряду. Якщо між станами  $a_i$  і  $a_{i+1}$  МПА немає умовного переходу, то з надходженням наступного тактового сигналу по входу Clock і за наявності сигналів  $DSR = 0, S_0 = 1, S_1 = 0$  на відповідних входах регістра зсуву в ньому виконується зсув праворуч його вмісту, в результаті чого з'являється одиничний сигнал  $Q_{i+1}$  і нульовий сигнал  $Q_i$  на відповідних виходах регістра зсуву.

У випадку, якщо між станами  $a_i$  і  $a_{i+j}$  автомата існує умовний перехід, на відповідному виході блока елементів І формується одиничний сигнал, який через блок елементів АБО призводить до того, що на відповідний вхід  $D_i$  регістра зсуву надходить нульовий сигнал, а на вхід  $D_{i+j}$  – одиничний сигнал з одночасним формуванням багатовхідним елементом АБО одиничного сигналу. Таким чином, за наявності

сигналів  $S0 = 1, S1 = 1$  на входах регістра зсуву з надходженням наступного тактового сигналу по входу Clock в останньому відбувається зміна станів. Аналогічні дії виконуються на кожному безумовному і умовному переходах автомата Мура.

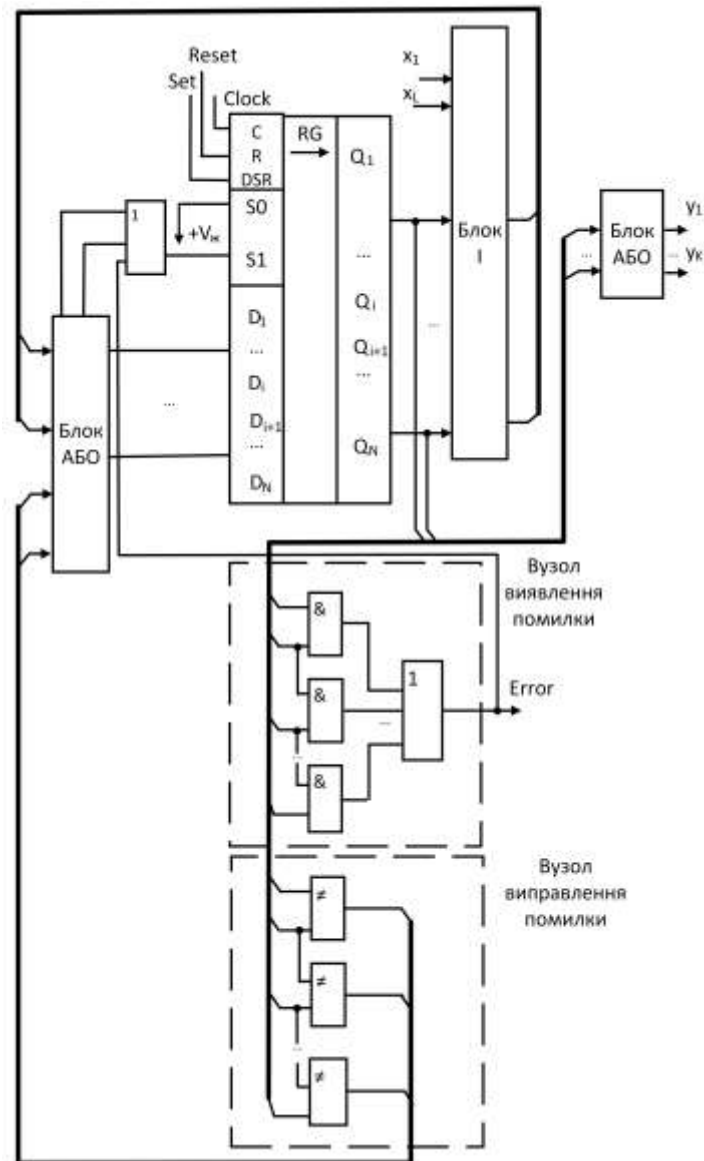


Рисунок 2 – Узагальнена функціональна схема МПА на базі R-автомата

Отже, відповідно до граф-схеми автомата Мура на відповідних виходах вихідного блока елементів АБО формуються сигнали керування  $y_1, \dots, y_k$  з урахуванням умовних сигналів  $x_1, \dots, x_L$  на відповідних входах блока елементів І.

### Функціональний контроль мікропрограмного R-автомата

Вузол виявлення помилки формує на своєму вході Error одиничний сигнал у випадку, коли на двох сусідніх виходах  $Q_1, \dots, Q_N$  регістра зсуву знаходяться два одиничних сигнали (рис. 2). Це свідчить про те, що у регістрі зсуву наявності збій у його спрацюванні, оскільки в кожному такті його роботи одиничний сигнал повинен бути тільки на одному з його виходів відповідно до способу кодування його станів  $a_1, \dots, a_N$  вигляду (1).

Таким чином, момент «гонитви сигналів» в даному випадку існує тоді, коли на виході одного зі старших розрядів регістра зсуву встановлюється одиничний сигнал, а на виході сусіднього молодшого роз-

ряду ще залишається одиничний сигнал. Таким чином, виникає ситуація, коли на виходах  $Q_1, \dots, Q_i, Q_{i+1}, \dots, Q_N$  регістра зсуву зафіксовано код  $0\dots 0110\dots 0$ .

В цьому випадку на виході одного з елементів  $I_1, \dots, I_{N-1}$  вузла виявлення помилки з'являється одиничний сигнал, що проходить через його елемент АБО і фіксується на його виході. В результаті, одиничний сигнал на виході Еггор свідчить про наявність збою у спрацьованні пристрою.

Після появи одиничного сигналу на виході Еггор вузла виявлення помилки, тобто за наявності двох одиничних сигналів на сусідніх виходах  $Q_1, \dots, Q_N$  регістра зсуву спрацьовують два сусідніх елемента з  $(N-1)$  елементів НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ вузла виправлення помилки (рис. 2). При цьому, якщо одиничний сигнал присутній на виходах  $Q_i$  та  $Q_{i+1}$  регістра зсуву, та на виході  $i$ -го елемента НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ формується нульовий сигнал, а на виході  $(i+1)$ -го елемента НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ – одиничний сигнал.

Отже, це означає, що необхідно примусово обнулити молодший розряд по входу  $D_i$  з одночасним підтвердженням одиничного стану у старшому розряді по входу  $D_{i+1}$  регістра зсуву. Такий запис інформації по відповідних входах  $D_i$  та  $D_{i+1}$  регістра зсуву виконується за наявності одиничного сигналу на виході Еггор вузла виявлення помилки, який, будучи поданий на відповідний вхід багатовхідного елемента АБО, сформує сигнал  $S1 = 1$  на вході режиму регістра зсуву, що дозволить паралельний запис по його входах  $D_1, \dots, D_N$ .

Таким чином, сформовані інформаційні сигнали на відповідних  $i$ -му та  $(i+1)$ -му виходах вузла виправлення помилки через блок елементів АБО поступають на відповідні входи  $D_1, \dots, D_N$  регістра зсуву та викликають виправлення помилки, що виникла в процесі «гонитви сигналів» на його виходах  $Q_1, \dots, Q_N$ .

Отже, використання особливостей одиничного кодування станів МПА, що побудований на регістрі зсуву, дозволяє визначити збій у його спрацьованні в процесі «гонитви сигналів», із застосуванням вузла виявлення помилки, а також виправити помилку, що виникла у поточному стані регістра зсуву, із застосуванням вузла виправлення помилки, без зупинки у роботі МПА.

### Висновки

Такі властивості одиничного позиційного коду, як надлишковість та еквідистантність, дозволяють усунути збій у спрацьованні пристрою керування на базі мікропрограмного R-автомата, враховуючи специфічність подання сусідніх кодових комбінацій цього коду.

Отже, з одного боку, ускладнення запам'ятовувальної частини R-автомата на багаторозрядному регістрі зсуву залежить від застосування одиничного позиційного кодування його станів. З іншого боку, це дозволяє виконати не тільки виявлення, але й виправлення помилки типу «гонитви сигналів» в результаті введення двох вузлів зі спрощеною структурою, які виконують функціональний контроль роботи пристрою керування у реальному часі.

### Список літератури

- [1] Ю. П. Жураковський, В. П. Полторак, *Теорія інформації та кодування*. Київ, Україна: Вища школа, 2001, 255 с.
- [2] В. А. Лужецький, *Високнадійні математичні Фібоначчі-процесори: монографія*. Вінниця, Україна: «УНІВЕРСУМ - Вінниця», 2000, 248 с.
- [3] О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, Я. М. Клятченко, В. П. Тарасенко, *Комп'ютерна схемотехніка: підручник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2018, 230 с.
- [4] В. А. Лужецький, О. А. Хіясат, "Кодуючі та декодуючі пристрої р-кодів Фібоначчі, що виправляють помилки", *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. № 2, с. 25-29, 1999.
- [5] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, В. В. Туйчев, "Векторний метод локалізації помилок підвищеної ефективності", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. № 2, с. 60-67. 2021.
- [6] Я. М. Николайчук, *Теорія джерел інформації*. Тернопіль, Україна: ТзОВ "Терно-граф", 2010, 536 с.
- [7] A. Neubauer, J. Freudenberger, V. Kuhn, *Coding Theory: Algorithms, Architectures and Applications*, Chichester, England : Wiley-Interscience, 2007, 352 p.
- [8] Т. Б. Мартинюк, М. О. Зайцев, М. В. Микитюк, "Особливості аналого-цифрового перетворення в логіко-часовому базисі", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. № 1, с. 80-85, 2021.
- [9] Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, "Ефективність одиничного кодування даних", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. № 2, с. 30-36. 2021.
- [10] Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, О. С. Городецька, "Еквідистантність та одиничні коди", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. № 1, с. 13-16. 2021.
- [11] Т. Б. Мартинюк, К. В. Кожем'яко, А. В. Кожем'яко, "До оцінки складності комбінаційних схем R-автоматів", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. № 1, с. 31–34, 1997.

- [12] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, Н. В. Фофанова, "Два варіанти синтезу мікропрограмних R-автоматів", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. № 4, с. 47–53, 1998.
- [13] Т. Б. Мартинюк, Л. В. Крупельницький, М. В. Микитюк, М. О. Зайцев, "Особливості блока керування для кореляційної обробки зображень", *Вісник ВПІ*. № 1, с. 91-96. 2022.
- [14] Т. Б. Мартинюк, Б. І. Круківський, С. В. Богомолів, А. О. Кузіна, "Синтез пристрою керування на базі R-автомата для асоціативного процесора", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. № 2, с. 79-85, 2022.
- [15] Т. Б. Мартинюк, Мохамед Салем Нассер, В. В. Власійчук, О. М. Наконечний, "Аналіз можливостей одиничного кодування числової інформації", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2 (10), с. 39-44, 2005.
- [16] В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, В. В. Дмитрук, В. В. Власійчук, "Класифікація одиничних кодів", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. № 1 (11), с. 36-42, 2006.
- [17] S. S. Adams, Introduction to Algebraic Coding Theory, 2008, 67 p. [Online]. Available : <http://mirmillion.free.fr/root/Efrei/L'3/SJSU/Coding%20Theory/eccbook2007-2.pdf>.
- [18] Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, М. А. Очуров, "Завадостійкість одиничного кодування для пристроїв керування", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 1, с. 37-42, 2022.
- [19] В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, Ю. Ф. Кутаєв, А. Г. Буда, К. В. Кожем'яко, "Мікропрограмний автомат", *Патент України МПК G06F9/00, 7/00 № 6204*, 29.12.1994.

Стаття надійшла: 22.04.2023.

### References

- [1] Ju. P. Zhurakovskij, V. P. Poltorak, *Teoriya informacii ta koduvannja*. Kiïv, Ukraïna: Vishha shkola, 2001, 255 s. [in Ukrainian].
- [2] V. A. Luzhetskij, *Vysokonadiini matematychni Fibonachchi-protseory: monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraïna: «UNIVERSUM - Vinnytsia», 2000, 247 s. [in Ukrainian].
- [3] O. D. Azarov, V. A. Harnaha, Ya. M. Kliatchenko, V. P. Tarasenko, *Kompiuterna skhemotekhnika: pidruchnyk*. Vinnytsia, Ukraïna: VNTU, 2018, 230 s. [in Ukrainian].
- [4] V. A. Luzhetskij, O. A. Khiiasat, "Koduiuchi ta dekoduiuchi prystroi r-kodiv Fibonachchi, shcho vypravliaiut pomylyky", *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*. № 2, s. 25-29, 1999. [in Ukrainian].
- [5] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, V. V. Tuichev, "Vektornyi metod lokalizatsii pomylok pidvyshchenoi efektyvnosti", *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. № 2, s. 60-67. 2021. [in Ukrainian].
- [6] Ya. M. Nykolaichuk, *Teoriia dzherel informatsii*. Ternopil, Ukraïna: TzOV "Terno-hraf", 2010, 536 p. [in Ukrainian].
- [7] A. Neubauer, J. Freudenberger, V. Kuhn, Coding Theory: Algorithms, Architectures and Applications, Chichester, England : Wiley-Interscience, 2007, 352 p.
- [8] Т. В. Мартинюк, М. О. Зайцев, М. В. Мукичюк, "Особливості аналого-цифрового перетворення в логіко-часовому базисі", *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. № 1, s. 80-85, 2021 [in Ukrainian].
- [9] Т. В. Мартинюк, О. В. Войцеховська, "Ефективність одноступінчатого кодування даних", *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. № 2, s. 30-36. 2021 [in Ukrainian].
- [10] Т. В. Мартинюк, О. В. Войцеховська, О. С. Городетська, "Еквідистантність та одноступінчаті коди", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. № 1, s. 13-16, 2021 [in Ukrainian].
- [11] Т. В. Мартинюк, К. В. Коземіако, А. В. Коземіако, "До отсинку складності комбінаційних s-тем R-автоматів", *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. № 1, s. 31–34, 1997 [in Ukrainian].
- [12] Т. В. Мартинюк, А. В. Коземіако, Н. В. Фофанова, "Dva varianty syntezu mikroprohramnykh R-avtomativ", *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 4, s. 47–53, 1998 [in Ukrainian].
- [13] Т. В. Мартинюк, Л. В. Крупельницький, М. В. Мукичюк, М. О. Зайцев, "Особливості блока керування для кореляційної обробки зображень", *Visnyk VPI*. № 1, s. 91-96. 2022 [in Ukrainian].
- [14] Т. В. Мартинюк, Б. І. Круківський, С. В. Богомолів, А. О. Кузіна, "Syntez prystroiu keruvannia na bazi R-avtomata dlia asotsiatyvnoho protseora", *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. № 2, s. 79-85, 2022 [in Ukrainian].
- [15] Т. В. Мартинюк, Мохамед Салем Нассер, В. В. Власійчук, О. М. Наконечний, "Analiz mozhlyvostei odynychnoho koduvannia chyslovoi informatsii", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2 (10), s. 39-44, 2005 [in Ukrainian].

- [16] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, V. V. Dmytruk, V. V. Vlasiichuk, "Klasyfikatsiia odynychnykh ko-div", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii*. № 1 (11), s. 36-42. 2006 [in Ukrainian].
- [17] S. S. Adams, Introduction to Algebraic Coding Theory, 2008, 67 p. [Online]. Available : <http://mirmillion.free.fr/root/Efrei/L'3/SJSU/Coding%20Theory/eccbook2007-2.pdf>.
- [18] T. B. Martyniuk, O. V. Voitsekhovska, M. A. Ochkurov, "Zavadostiikist odynychnoho koduvannia dlia prystroiv keruvannia", *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia*, № 1, s. 37-42, 2022 [in Ukrainian].
- [19] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, Yu. F. Kutaiev, A. H. Buda, K. V. Kozhemiako, "Mikrocrohramnyi avtomat", *Patent Ukrainy MPK G06F9/00, 7/00 № 6204*, 29.12.1994 [in Ukrainian].

#### **Відомості про авторів**

**Мартинюк Тетяна Борисівна** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки.

**Войцеховська Олена Валеріївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки.

**Очкуров Микола Андрійович** – старший викладач кафедри обчислювальної техніки.

**Войналович Олександр Юрійович** – аспірант кафедри обчислювальної техніки

T. B. Martyniuk, O. V. Voytsekhovska, M. A. Ochkurov, O. Y. Voinalovych

## **PROPERTIES OF UNIT ENCODING OF INFORMATION IN THE CONTEXT OF FUNCTIONAL CONTROL**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia