

УДК 004.67+519.725

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

ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ ОДИНИЧНОГО КОДУВАННЯ ДЛЯ ПРИБОРІВ КЕРУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Спосіб кодування числової інформації відіграє значну роль при синтезі пристрою керування в процесі кодування його станів. Це пов'язано не тільки зі складністю комбінаційної частини пристроїв керування, але й з необхідністю контролювати їх завадостійкість. У більшості випадків контролездатність кодових комбінацій досягається за рахунок введення додаткових (контрольних) бітів, тобто за рахунок збільшення розмірності кодів та введення засобів формування контрольних бітів. Разом з тим, існують способи кодування, які мають «вбудовану» у структуру кодів здатність до завадостійкості. До таких кодів належить один з різновидів одиничних кодів, а саме одиничний позиційний (маркувальний) код. В даній статті розглядається властивість завадостійкості одиничного позиційного коду з орієнтацією до застосування для кодування станів пристрою керування на базі R-автомата. Збільшення бітів такого коду та специфічний спосіб формування сусідніх кодових комбінацій забезпечують таку його властивість, як еквідистантність. А це, у свою чергу, дозволяє організувати прості комбінаційні схеми вузлів виявлення та виправлення помилки типу «гонитви» сигналів. У статті наведено узагальнену схему для функціонального контролю завадостійкого спрацювання пристрою керування із застосуванням одиничного позиційного кодування його станів. Також показано функціональні схеми вузлів виявлення та виправлення помилки та їх зв'язки із зсувним регістром, який є запам'ятовуючою частиною пристрою керування на базі R-автомата.

Ключові слова: завадостійкість, одиничне кодування, пристрій керування, R-автомат.

Abstract. The method of encoding numerical information plays a significant role in the synthesis of the control device in the process of encoding its states. This is due not only to the complexity of the combination of control devices, but also to the need to control their noise stability. In most cases, the controllability of code combinations is achieved by introducing additional (control) bits, i.e. by increasing the dimension of codes and the introduction of means of generating control bits. However, there are coding methods that have a "built-in" in the structure of codes the ability to noise stability. Such codes include one of the types of unit codes, namely the unit position (marking) code. This article considers the property of noise stability of a unit position code with an orientation to the applying the control device based on the R-automaton for coding its states. Increasing the bits of such code and a specific way of forming neighboring code combinations provide such a property as equidistance. And this, in turn, allows you to organize simple combinational schemes of nodes for detection and correction of errors such as "race" signals. Also, the functional schemes for error detection and correction units and their connection to the shift register, which is a storage part of the control device based on the R-automaton, are shown.

Key words: noise stability, unit encoding, control device, R-automaton.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-37-42>.

Вступ

Кодування числової інформації – це один із важливих факторів забезпечення головних характеристик обчислювальних засобів, таких як швидкодія, завадостійкість, вартість, надійність, контролездатність [1–3]. Особлива увага під час практичного застосування кодованих числових даних приділяється їх завадостійкості, що забезпечує достовірність передавання та зберігання значних обсягів інформації [4, 5], а також безпомилковість спрацювання технічних засобів, зокрема пристроїв керування [6–8]. У статті [8] при цьому слушно визначено практичну задачу завадостійкого кодування – це висока ефективність виявлення помилок при незначній надлишковості кодових комбінацій.

Актуальність тематики

У літературі [1-3, 9, 10] визначено базові фактори, що впливають на ефективність кодування числових даних:

- показник складності алгоритмів перетворення в процесі прийому, обробки та передачі даних;
- показник можливості візуалізації результатів обробки, зручної для людини;
- показник складності подання чисел в залежності від системи елементів, що використовуються;
- показник складності та швидкодії обчислювальних засобів під час виконання машинних операцій над числами;
- показник завадостійкості та контролездатності кодових комбінацій, що впливає на ефективність виконання операцій над ними.

Мета роботи

Метою роботи є застосування властивості завадостійкості різновиду одиничних кодів (одиничного позиційного коду) для забезпечення контролездатності пристроїв керування.

Постановка задачі

Особливо гостро необхідність не тільки виявлення, але й виправлення помилок у кодових комбінаціях існує в процесі спрацювання пристроїв керування. Це пов'язано з виникненням так званої «гонитви» сигналів (signal race) [11,12], що призводить до збою і навіть до припинення роботи пристрою керування та системи взагалі. Тому актуальною є задача розробки засобів, що забезпечують виявлення фактів «го-

нитви» сигналів в процесі спрацювання пристроїв керування з одночасним усуненням їх помилкових станів.

У роботі [13] наведено узагальнену схему для функціонального контролю (рис. 1) за виявленням та виправленням помилок у кодовій комбінації, зокрема у кодах Фібоначчі. Схема містить інформаційний регістр, вміст якого підлягає контролю, контрольний регістр, який виявляє помилку з усуненням її причини в інформаційному регістрі, та логічну схему «причина» і логічну схему «наслідок». Виправлений код знімається з виходу інформаційного регістра, а сигнал «помилка» – з відповідного виходу контрольного регістра. Принцип функціонального контролю в цьому випадку полягає в тому, що у контрольному регістрі формується сигнал «помилка» тоді, коли у ньому з'являється принаймні одна одиниця [13].

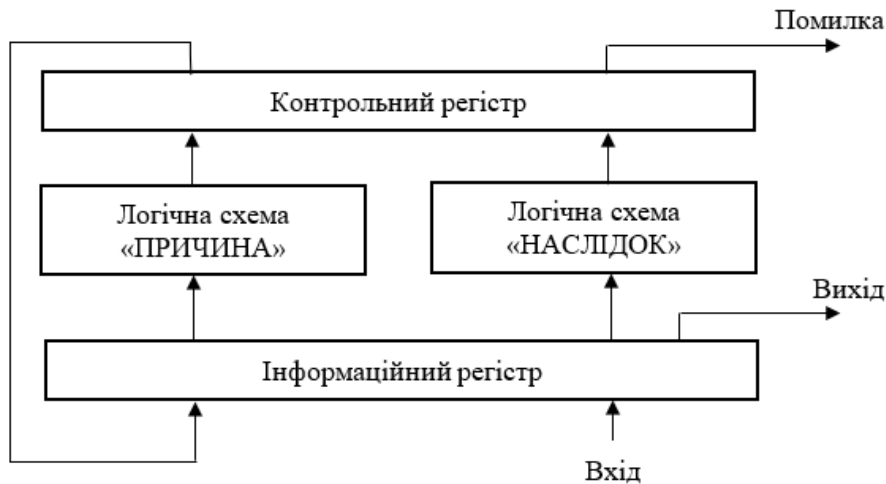


Рисунок 1 – Узагальнена схема для функціонального контролю [13]

В даній роботі цей підхід до виявлення та виправлення помилок у кодовій комбінації взято за зразок для прикладу з одиничним кодуванням інформації у пристрої керування.

Властивості одиничного позиційного кодування

Одиничний позиційний (маркувальний) код V [14] можна подати як множину (послідовність) кодів слів $\bar{\alpha}_i$ вигляду [15]:

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_1 &= (100 \dots 0), \\ \bar{\alpha}_2 &= (010 \dots 0), \\ &\dots \\ \bar{\alpha}_m &= (000 \dots 1), \end{aligned} \quad (1)$$

де кількість розрядів кожного кодового слова $\bar{\alpha}_i$ дорівнює m , а кожне наступне слово у послідовності формується в процесі зсуву одиничного маркера на один розряд у бік старших розрядів [16].

У статтях [17,18] розглянуто такі властивості цього коду, як теоретична контролездатність та контролездатність за модифікованою перевіркою матрицею, еквідистантність, надлишковість та інші. Результати дослідження показали, що цей код належить до нелінійних кодів і має надлишковість інформаційних розрядів (позицій). Остання ознака свідчить про підвищення рівня його реальної контролездатності у порівнянні з теоретичною [19].

Отже, одиничний позиційний код вигляду (1) є еквідистантним кодом, оскільки відстань Хеммінга між будь-якими двома його кодовими словами $\bar{\alpha}_i$, де $i = 1, \dots, m$, дорівнює $d(V) = 2$.

Крім того, особливістю еквідистантних кодів є не тільки рівність всіх попарних відстаней $d(V)$, але й представлення їх парним числом [15].

Разом з тим, з теорії кодування відомо, що код V виявляє t помилок тоді і тільки тоді, якщо відстань Хеммінга між двома його кодовими словами $\bar{\alpha}_i$ не менша, ніж $(t+1)$ [15, 20]. Отже, одиничний позиційний код (1) може виявити $t = 1$ помилок, тобто одиночні помилки. Це свідчить про природну контролездатність цього коду. Така можливість може бути реалізована при кодуванні станів пристроїв керування.

Еквідистантне кодування станів пристрою керування

Найбільш прийнятним пристроєм керування для використання розглянутого одиничного позиційного коду (1) є мікропрограмний автомат (МПА) на базі R-автомата (RA) [21, 22]. В цьому випадку запам'ятовуюча частина МПА реалізується на зсувному регістрі (R) на відміну від відомих МПА на пара-

лельних регістрах (ТА) і на лічильниках (СТА) [23]. Методику синтезу МПА на RA у загальному вигляді та на конкретних прикладах застосування розглянуто у статтях [24-26].

На рис. 2 наведено узагальнену функціональну схему запам'ятовуючої частини МПА, реалізованої як RA, що містить зсувний регістр RG і два логічні вузли: вузол виявлення помилки і вузол виправлення помилки.

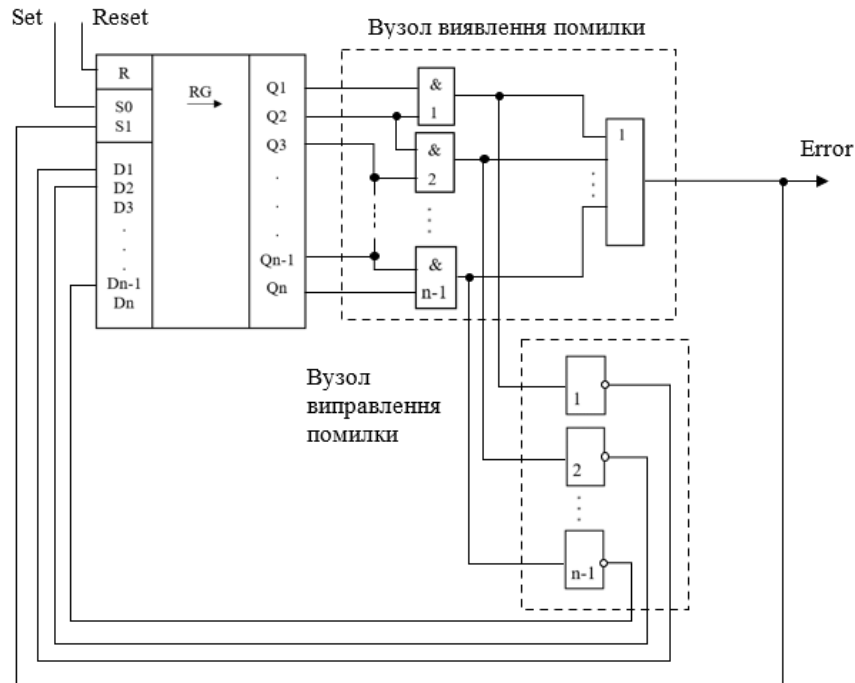


Рисунок 2 – Узагальнена функціональна схема запам'ятовуючої частини МПА

Незначна складність логічної схеми обох вузлів обумовлена, в першу чергу, еквідистантністю одиничного позиційного коду, а також формуванням послідовності кодових слів вигляду (1) на зсувному регістрі RG. Отже, поява збою (помилки) в результаті «гонитви» сигналів можлива в цьому випадку тільки у вигляді появи двох сусідніх одиничних бітів. Такі випадки виявляються у будь-якому логічному двовхідному елементі І вузла виявлення помилки (рис. 2), входи яких з'єднані з виходами сусідніх розрядів зсувного регістра RG. Кількість таких елементів І дорівнює $n - 1$, де n – кількість розрядів зсувного регістра RG. В результаті на виході цього вузла формується одиничний сигнал Error.

Такий підхід до виявлення помилки у спрацюванні зсувного регістра RG дає можливість її виправити саме для випадку появи двох сусідніх одиничних бітів. Враховуючи те, що зсув у зсувному регістрі RG можливий тільки в бік його старших розрядів, збій у його спрацюванні може бути викликаний затримкою в обнуленні молодшого з двох спрацьованих розрядів. Для примусового обнулення молодшого з двох розрядів задіяно відповідний інвертор у вузлі виправлення помилки.

Враховуючи те, що режим паралельного запису у зсувному регістрі RG встановлюється за наявності на його входах S0, S1 вибору режиму обох високих сигналів, то доцільно використати одиничний сигнал помилки Error для входу S1, оскільки на вхід S0 подається одиничний сигнал з настановного входу Set (рис. 2). Звичайний режим зсуву при спрацюванні зсувного регістра RG забезпечується комбінацією сигналів на входах S0, S1 а– високий, низький відповідно [27]. Вхід Reset використовується для скиду регістра RG у нульовий стан. Таким чином реалізується завадостійкість одиничного позиційного кодування станів у пристрої керування конкретного типу RA.

Порівнюючи структуру, наведену на рис.2, з представленою на рис. 1 узагальненою схемою для функціонального контролю, можна зобразити запропоновану структуру у вигляді, поданому на рис. 3. З рис. 3 видно, що надлишковість та еквідистантність одиничного позиційного коду дозволяють відмовитись від використання контрольного регістра, а сформований сигнал помилки Error використати не тільки як певну ознаку, але й як керуючий сигнал для виправлення збою у кодовій комбінації в інформаційному (зсувному) регістрі. Це підкреслює високу практичну контролездатність одиничного позиційного (маркувального) коду.

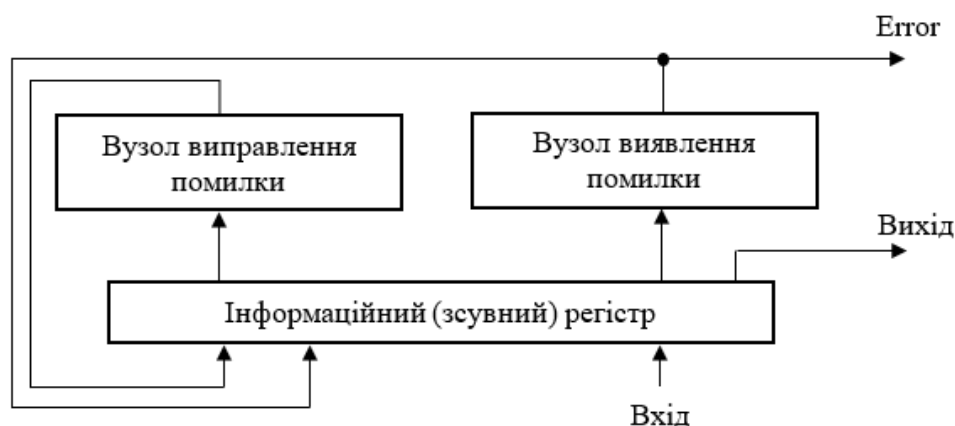


Рисунок 3 – Схема для функціонального контролю одиничного позиційного кодування

Висновки

Запропоновано функціональні схеми вузлів виявлення та виправлення помилки у складі запам'ятовувальної частини пристрою керування на зсувному регістрі, які зорієнтовано на опрацювання кодових комбінацій з використанням одиничного позиційного (маркувального) коду.

Це дозволяє, враховуючи надлишковість та еквідистантність такого коду, спростити функціональні схеми вузлів, а також використати сформований сигнал помилки як керуючий сигнал для виправлення помилки у кодовій комбінації.

Таким чином забезпечується процес усунення «гонитви» сигналів у спрацюванні пристрою керування через специфічність подання сусідніх кодових комбінацій одиничного позиційного коду, що свідчить про високу контролездатність використання такого коду для кодування станів пристроїв керування на базі R-автомата.

Список літератури

- [1] М. П. Матвієнко, В. П. Розен, *Комп'ютерна схемотехніка : навчальний посібник*. Київ, Україна: Видавництво Ліра-К, 2016, 192 с.
- [2] О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, Я. М. Клятченко, В. П. Тарасенко, *Комп'ютерна схемотехніка : підручник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2018, 230 с.
- [3] Ю. П. Жураковський, В. П. Полторака, *Теорія інформації та кодування*. Київ, Україна: Вища школа, 2001, 255 с.
- [4] W. Stallings, *Data and computer communications*, New Jersey, USA: Pearson Education, Inc., 2007, 890 p.
- [5] S. S. Adams, *Introduction to Algebraic Coding Theory*, 2008, 67 p. [Online]. Available: <http://mirmillion.free.fr/root/Efrei/L'3/SJSU/Coding%20Theory%20Theory/eccbook2007-2.pdf>.
- [6] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, *Повнофункціональна побітова потокова арифметика зі зменшеними витратами обладнання : монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2013, 200 с.
- [7] F. J. MacWilliams, N. J. A. Sloane, *The Theory of Error-correcting Codes*, New York, USA: North Holland Publishing Co., 1977, 762 p.
- [8] 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.
- [9] В. А. Лужецький, О. А. Хіясат, "Кодуючі та декодуєчі пристрої p-кодів Фібоначчі, що виправляють помилки", *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, №2, с. 25–29. 1999.
- [10] T. Kasami, T. Sugita, T. Fujiwara, *Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error-Correcting Codes*, vol. 1255, pp. 197, 1997.
- [11] A. Neubauer, J. Freudenberger, V. Kuhn, *Coding Theory: Algorithms, Architectures and Applications*, Chichester, England: Wiley-Interscience, 2007, 352 p.
- [12] В. І. Жабін, І. А. Жуков, І. А. Клименко, В. В. Ткаченко, *Прикладна теорія цифрових автоматів*. К., Україна : Книжкове вид-во НАУ, 2007, 364 с.
- [13] В. А. Лужецький, *Високонадійні математичні Фібоначчі-процесори: монографія*. Вінниця, Україна: «УНІВЕРСУМ - Вінниця», 2000, 248 с.
- [14] С. В. Свечников, В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко, *Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа*. Киев, Украина: Наукова думка, 1987, 256 с.
- [15] В. К. Леонтьев, *Теория кодирования*. М., РФ: Знание, 1977, 64 с.

- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] E. R. Berlekamp, *Algebraic Coding Theory*, New York, USA: McGraw-Hill, pp. 415–416, 1968.
- [20] Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, О. С. Городецька, "Еквідистантність та одиничні коди", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1, с. 13–16, 2021.
- [21] В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, К. В. Кожем'яко, "Синтез устроювання управління на R-автоматі", *Управляющие системы и машины*, № 1/2, с. 22–25, 1995.
- [22] Т. Б. Мартинюк, "Особенности синтеза микропрограммных R-автоматов", *Управляющие системы и машины*, № 3, с. 22–26, 1998.
- [23] Ю. А. Бузунов, И. Г. Буренков, Н. Н. Шипилов, "Микропрограммные автоматы на параллельно-последовательных структурах", *Управляющие системы и машины*, № 2, с. 26–29, 1982.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, Н. В. Фофанова, В. В. Дмитрук, "Порівняльний аналіз варіантів синтезу мікропрограмних автоматів", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1 (9), с. 225–233, 2005.
- [27] В. И. Зубчук, В. П. Сигорский, А. Н. Шкуро, *Справочник по цифровой схемотехнике*. Киев, Украина: Техника, 1990, 448 с.

Стаття надійшла: 22.01.2022.

References

- [1] M. P. Matviienko, V. P. Rozen, *Kompiuterna skhemotekhnika : navchalnyi posibnyk*. Kyiv, Ukraina: Vydavnytstvo Lira-K, 2016, 192 s. [in Ukrainian].
- [2] O. D. Azarov, V. A. Harnaha, Ya. M. Kliatchenko, V. P. Tarasenko, *Kompiuterna skhemotekhnika : pidruchnyk*. Vinnytsia, Ukraina : VNTU, 2018, 230 s. [in Ukrainian].
- [3] Ju. P. Zhurakovsk'ij, V. P. Poltorak, *Teoriya informacii ta koduvannja*. Kiiv, Ukraïna: Vishha shkola, 2001, 255 s. [in Ukrainian].
- [4] W. Stallings, *Data and computer communications*, New Jersey, USA: Pearson Education, Inc., 2007, 890 p.
- [5] S. S. Adams, *Introduction to Algebraic Coding Theory*, 2008, 67 p. [Online]. Available: <http://mirmillion.free.fr/root/Efrei/L3/SJSU/Coding%20Theory/eccbook2007-2.pdf>.
- [6] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, *Povnofunktsionalna pobitova potokova aryfmetyka zi zmenshenymy vytratamy obladnannia : monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina : VNTU, 2013, 200 s. [in Ukrainian].
- [7] F. J. MacWilliams, N. J. A. Sloane, *The Theory of Error-correcting Codes*, New York, USA : North Holland Publishing Co., 1977, 762 p.
- [8] 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].
- [9] V. A. Luzhetskyi, O. A. Khiiasat, "Koduiuchi ta dekoduiuchi prystroi r-kodiv Fibonachchi, shcho vypravliaiut pomylyky", *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, №2, с. 25–29, 1999 [in Ukrainian].
- [10] T. Kasami, T. Sugita, T. Fujiwara, *Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error-Correcting Codes*, vol. 1255, pp. 197, 1997.
- [11] A. Neubauer, J. Freudenberger, V. Kuhn, *Coding Theory: Algorithms, Architectures and Applications*, Chichester, England : Wiley-Interscience, 2007, 352 p.
- [12] V. I. Zhabin, I. A. Zhukov, I. A. Klymenko, V. V. Tkachenko, *Prykladna teoriia tsyfrovyykh avtomativ*. K., Ukraina: Knyzhkove vyd-vo NAU, 2007, 364 s. [in Ukrainian].
- [13] V. A. Luzhetskyi, *Vysokonadiini matematychni Fibonachchi-protseory: monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina: «UNIVERSUM - Vinnytsia», 2000, 247 s. [in Ukrainian].
- [14] S. V. Svechnikov, V. P. Kozhemjako, L. I. Timchenko, *Kvaziimpul'sno-potencial'nye optojelektroonnye jelementy i ustrojstva logiko-vremennogo tipa*. Kiev, Ukraina: Naukova dumka, 1987, 256 s. [in Russian].
- [15] V. K. Leont'ev, *Teoriya kodirovaniya*. M., RF: Znanie, 1977, 64 s. [in Russian].

- [16] T. B. Martyniuk, M. O. Zaitsev, M. V. Mykytiuk, "Osoblyvosti analoho-tsyfrovoho peretvorennia v lohiko-chasovomu bazysi", *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*, № 1, s. 80–85, 2021 [in Ukrainian].
- [17] T. B. Martyniuk, Mokhamed Salem Nasser, V. V. Vlasichuk, O. M. Nakonechnyi, "Analiz mozhlyvosti odynychnoho koduvannia chyslovoi informatsii", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 2 (10), s. 39–44, 2005 [in Ukrainian].
- [18] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, V. V. Dmytruk, V. V. Vlasichuk, "Klasyfikatsiia odynychnykh kodiv", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 1 (11), s. 36–42, 2006 [in Ukrainian].
- [19] E. R. Berlekamp, *Algebraic Coding Theory*, New York, USA: McGraw-Hill, pp. 415-416, 1968.
- [20] T. B. Martyniuk, O. V. Voitsekhovska, O. S. Horodetska, "Ekvidystantnist ta odynichni kody", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 1, s. 13–16, 2021 [in Ukrainian].
- [21] V. P. Kozhemjako, T. B. Martynjuk, K. V. Kozhemjako, "Sintez ustrojstva upravlenija na R-avtomate", *Upravljajushhie sistemy i mashyny*, № 1/2, s. 22–25, 1995 [in Russian].
- [22] T. B. Martynjuk, "Osobennosti sinteza mikroprogrammnyh R-avtomatov", *Upravljajushhie sistemy i mashyny*, № 3, s. 22-26, 1998 [in Ukrainian].
- [23] Ju. A. Buzunov, I. G. Burenkov, N. N. Shipilov, "Mikroprogrammnye avtomaty na parallel'no-posledovatel'nyh strukturah", *Upravljajushhie sistemy i mashyny*, № 2, s. 26–29, 1982 [in Russian].
- [24] T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, N. V. Fofanova, "Dva varianty syntezy mikroprohramnykh R-avtomativ", *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 4, s. 47–53, 1998 [in Ukrainian].
- [25] T. B. Martyniuk, L. V. Krupelnytskyi, M. V. Mykytiuk, M. O. Zaitsev, "Osoblyvosti bloka keruvannia dlia koreliatsiinoi obrobky zobrazhen", *Visnyk VPI*, № 1, s. 91–96, 2022, [in Ukrainian].
- [26] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, N. V. Fofanova, V. V. Dmytruk, "Porivnialnyi analiz variantiv syntezy mikroprohramnykh avtomativ", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 1 (9), s. 225–233, 2005 [in Ukrainian].
- [27] V. I. Zubchuk, V. P. Sigorskij, A. N. Shkuro, *Spravochnik po cifrovoj shemotehnikе*. Kiev, Ukraina: Tjehnika, 1990, 448 s. [in Russian].

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.

T. B. Martyniuk, O. V. Voytsekhovska, M. A. Ochukrov

NOISE STABILITY OF UNIT ENCODING FOR CONTROL DEVICES

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia