

УДК 004.67(075.8)

Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОДИНИЧНОГО КОДУВАННЯ ДАНИХ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. В роботі проведено аналіз реалізаційних властивостей одиничних кодів як альтернативних до класичних двійкових. Показана можливість формування логіко-часового коду, який є симбіозом двох відомих одиничних кодів: одиничного нормального та одиничного позиційного (маркувального) коду. Це дозволяє забезпечити прискорений принцип запису інформації та меншу енергоємність при її збереженні. Наведено аналітичні вирази для розрахунку апаратних та часових витрат при конкретній реалізації одиничного кодування даних на зсувному регістрі та двійковому лічильнику з дешифратором. Саме відсутність дешифрації сформованих даних потребує збільшення кількості зв'язків у схемах в $N/\lceil \log_2 N \rceil$ разів. Широке застосування програмованих логічних ІС дозволяє усунути цю проблему при компактному розміщенні пристроїв з одиничним кодуванням у мікросхемі ПЛІС. Це дає можливість використовувати одиничні коди як альтернативу двійковим кодам при передачі даних, а також у деяких типах пристроїв керування при кодуванні їх станів і у запам'ятовуючих пристроях при адресації їх вмісту. Як приклад, показано ефективність використання одиничних кодів для кодування станів мікропрограмних автоматів, що досягається відносною простотою комбінаційних схем та відсутністю необхідності декодування кодових комбінацій станів автомата.

Ключові слова: одиничний код, ефективність кодування, кодування станів, мікропрограмний автомат.

Аннотация. В работе проведен анализ реализационных свойств единичных кодов как альтернативных классическим двоичным. Показана возможность формирования логико-временного кода, который является симбиозом двух известных единичных кодов: единичного нормального и единичного позиционного (маркировочного) кода. Это позволяет обеспечить ускоренный принцип записи информации и меньшую энергоёмкость при ее сохранении. Приведены аналитические выражения для расчета аппаратных и временных затрат при конкретной реализации единичного кодирования данных на сдвиговом регистре и двоичном счетчике с дешифратором. Именно отсутствие дешифрации сформированных данных вызывает увеличение количества связей в схемах в $N/\lceil \log_2 N \rceil$ раз. Широкое применение программируемых логических ИС позволяет устранить эту проблему при компактном размещении устройств с единичным кодированием в микросхеме ПЛИС. Это дает возможность использовать единичные коды в качестве альтернативы двоичным кодам при передаче данных, а также в некоторых типах устройств управления при кодировании их состояний и в запоминающих устройствах при адресации их содержания. В качестве примера показана эффективность использования единичных кодов для кодирования состояний микропрограммных автоматов, что достигается относительной простотой комбинационных схем и отсутствием необходимости декодирования кодовых комбинаций состояний автомата.

Ключевые слова: единичный код, эффективность кодирования, кодирование состояний, микропрограммный автомат.

Abstract. The paper analyzes the implementation properties of unit codes as alternatives to classical binary ones. The possibility of forming a logical-temporal code, which is a symbiosis of two known unit codes: a unit normal and a unit positional (marking) code, is shown. This allows you to provide accelerated principle of recording information and less energy-intensive while storing it. Analytical expressions for calculation of hardware and time expenses at concrete realization of unit data encoding on the shift register and the binary counter with the decoder are resulted. It is the lack of decryption of the generated data that requires increasing the number of connections in the schemes in $N/\lceil \log_2 N \rceil$ times. The widespread use of FPGAs eliminates this problem with the compact placement of unit-coded devices in the FPGA chip. This makes it possible to use unit codes as an alternative to binary codes in data transmission, as well as in some types of control devices when encoding their states and in storage devices when addressing their contents. As an example, the efficiency of using unit codes for encoding the states of microprogram automata is shown, which is achieved by the low complexity of combinational circuits and the absence of the need to decode the code combinations of automaton states.

Key words: unit code, coding efficiency, state coding, microprogram automaton.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2-30-36>.

Вступ

Принципи машинного кодування числової інформації відіграють значну роль у забезпеченні важливих характеристик комп'ютерних засобів, а саме, швидкодню, надійність, контролездатність, вартість, тощо [1–3]. Ефективність будь-якої системи числення можна оцінити, враховуючи такі показники, як складність алгоритмів перетворення при прийомі даних та видачі результатів, складність подання чисел, складність та швидкодія пристроїв для виконання арифметичних та інших типових операцій над числами [4, 5].

Метою даної роботи є визначення ефективності одного з варіантів альтернативного кодування числової інформації, а саме одиничного кодування з врахуванням апаратних та часових витрат.

Постановка задачі

У роботах [6, 7] детально розглянуто два різновиди одиничного кодування для логіко-часової обробки десяткової інформації: одиничний нормальний та одиничний позиційний (маркувальний) код. В результаті дослідження обох кодів по базовим критеріям, а саме за швидкодією, енергоємністю та завадостійкістю було запропоновано новий код, що є їх симбіозом. Він отримав назву логіко-часового коду (ЛЧК), оскільки був призначений для використання у специфічному однорідному середовищі [6–8]. Враховуючи, що принцип запису даних з використанням одиничного нормального коду є більш швидкісним, а з використанням позиційного коду – найменш енергоємним, то ЛЧК виявився зорієнтованим на максимально можливу схемотехнічну швидкодню при записі інформації та мінімально можливу потужність при її збереженні. Порівняння за цими показниками виконувалось серед двох наведених одиничних кодів [6–8].

Особливість двох різновидів одиничних кодів також детально розглянуто у роботах [9, 10] їх функціональні можливості та класифікацію за базовими ознаками [11] наведено у роботах [12, 13].

Оскільки одиничні коди було запропоновано для подання десяткової інформації [6–9], то доречно ці коди представити у вигляді матриці кодування D_r^n розмірністю $r \times n$, де r – основа системи числення, а n – кількість двійкових розрядів. У цій матриці рядки представляють коди десяткових цифр $a_i \in \{0, \dots, 9\}$, а стовбці відповідають двійковим розрядам $j \in \{0, \dots, 9\}$ кожного коду цифри a_i [14].

Таким чином, матриця кодування для одиничного нормального коду має вигляд:

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

а для одиничного позиційного коду вигляд:

$$D_{10}^{10} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Як видно з наведених матриць кодування D_{10}^{10} (1) і (2), для представлення кожної десяткової цифри a_i використовується максимальна кількість двійкових розрядів $n = 10$.

Особливості реалізації одиничних кодів

Апаратна реалізація будь-якої недвійкової системи числення, зокрема десяткової, виконується за умови використання схем з багатозначним поданням інформації [15].

Одним з прикладів таких багатозначних функціональних елементів, зорієнтованих на одиничне кодування числової інформації, є багатофункціональні модулі [6–8, 16], які не замінюють двійкові елементи, а розширюють область апаратної реалізації специфічного одиничного кодування числової інформації.

Разом з тим, за своїми функціональними можливостями та принципами схмотехнічної побудови багатофункціональні оптоелектронні модулі [6–8, 16] схожі з реверсивними зсувними регістрами [5]. Але для кількісного оцінювання доцільності вибору одиничної системи кодування розглянемо апаратні витрати на прикладі лічильників з врахуванням необхідності дешифрації двійково-кодуваної інформації на їх виходах.

Для лічильника з двійковим кодуванням та повним дешифратором апаратні витрати, що еквівалентні кількості входів вентилів, визначаються таким чином [17]:

$$P \approx S \lceil \log_2 N \rceil + q \lceil \log_2 N \rceil \cdot N = (S + q \cdot N) \lceil \log_2 N \rceil, \quad (3)$$

де N – кількість станів лічильника; $\lceil \log_2 N \rceil$ – кількість розрядів лічильника; S – умовна кількість елементів на один розряд лічильника, який містить тригерний каскад з входом лічби; q – коефіцієнт пропорційності між кількістю розрядів лічильника та середніми апаратними витратами на один вихід дешифратора з урахуванням кількості логічних та додаткових схем.

Для зсувного регістра з одиничним кодуванням апаратні витрати дорівнюють:

$$P' \approx p \cdot N, \quad (4)$$

де p – апаратні витрати на один розряд регістра, який містить тригерний каскад з роздільними входами.

Аналіз наведених співвідношень свідчить, що за умови

$$N > N_{кр} \approx 2^{p/q}, \quad (5)$$

використовувати одиничне кодування вигідніше, ніж двійкове, причому зі зростаючою ефективністю при подальшому збільшенні N [1, 3 – 5, 17].

При аналізі часових характеристик необхідно врахувати, що час перемикання зсувного регістра з одиничним кодуванням дорівнює часу перемикання тригерного каскаду з роздільними входами t_p , тобто

$$T = t_p. \quad (6)$$

Сумарний час перемикання двійкового лічильника з груповим перенесенням та вихідним лінійним дешифратором можна визначити таким чином [1, 4, 5, 17]:

$$T_{\Sigma} = t_n + t_g, \quad (7)$$

а при багатокаскадній реалізації як:

$$T_{\Sigma} = t_n + (2k + 1)t'_g, \quad (8)$$

де t_n – час перемикання тригерного каскаду з входом лічби; t_g , t'_g – час спрацювання вентиля відповідно з підсиленням вихідного сигналу і з урахуванням міжкаскадного підсилення сигналів; k – кількість каскадів для реалізації кон'юнкцій n змінних.

Отже, швидкодія зсувного регістра з одиничним кодуванням вище, ніж у лічильника з двійковим кодуванням та вихідним дешифратором [17]. Після того, як з'ясувалось, що зсувні регістри з одиничним кодуванням інформації мають переваги перед двійковими лічильниками за апаратними та часовими витратами, виникає питання щодо задач, де використання одиничного кодування є ефективнішим, ніж двійкове.

Враховуючи, що аналіз одиничних кодів показав їх завадостійкість та контролездатність [12, 13], то їх можна використовувати як альтернативу двійковим кодам при передачі даних з урахуванням схематичних можливостей, а також у деяких типах пристроїв керування при кодуванні їх станів і у запам'ятовуючих пристроях при адресації їх вмісту. Ефективність використання одиничних кодів у наведених прикладах пов'язана, в першу чергу, з відсутністю необхідності застосування дешифраторів. Але, разом з тим, виникає необхідність у збільшенні кількості комутаційних зв'язків у $N/\lceil \log_2 N \rceil$ разів. Широке застосування на програмованих логічних ІС (ПЛІС) дозволяє усунути цю проблему при компактному розміщенні не тільки конкретних пристроїв, але й систем і комплексів [18].

Можливості одиничного кодування станів мікропрограмних апаратів

Розглянемо вплив способу кодування станів мікропрограмного автомата (МПА) і, зокрема, одиничного кодування, на складність реалізації його комбінаційної схеми, а також на залежність її від коефіціє-

нта k_p розгалуження мікропрограми, що інтерпретується [19, 20]. Пропонується застосування одиничного кодування для альтернативних R-автоматів [21], в яких як елементи пам'яті використовуються двійкові зсувні регістри на відміну від СТ- і Т-автоматів, запам'ятовувальна частина яких реалізується відповідно на двійкових лічильниках і паралельних регістрах [22].

Відомо, що від обраного способу кодування станів МПА залежить об'єм пам'яті, стійкість автомата та його швидкодія [19, 20]. Етап кодування впливає на складність логічного перетворювача МПА, а вибір коду для розміщення внутрішніх станів МПА дозволяє збільшити надійність автомата [19, 20].

Якщо використати для кодування внутрішніх станів МПА одиничний позиційний (маркувальний) код з метою усунення наступної дешифрації кодових комбінацій, то це приведе до збільшення кількості елементів пам'яті МПА з одночасним спрощенням його логічного перетворювача [23, 24]. Разом з тим, значне збільшення у $N/\lceil \log_2 N \rceil$ разів кількості розрядів R-автомата з одиничним кодуванням у порівнянні з R-автоматом з будь-яким неодноразрядним кодуванням станів досягається шляхом «нарощування» розрядності зсувного регістра. А це не складає труднощів при реалізації такого зсувного регістра з його зв'язками на ПЛІС [18].

Крім того, одиничний спосіб кодування внутрішніх станів МПА дозволяє мінімізувати кількість елементарних кон'юнкцій в ДНФ для функцій переходу МПА [24, 25], що приводить до зменшення складності синтезу комбінаційних схем [23]. Так, величини π і ρ , які визначають кількість елементарних кон'юнкцій (до мінімізації) у запису ДНФ функцій переходу для R- та Т-автомата відповідно, мають такий вигляд [26]:

$$\pi = \sum_{j=1}^r L_j + \sum_{i \in G} \mu(a_i) \cdot K(a_i), \quad (9)$$

$$\rho = \sum_{i \in H} \sigma(a_i) \cdot K(a_i), \quad (10)$$

де L_j – довжина j -го лінійного ланцюга; r – кількість лінійних ланцюгів; G – множина номерів входів лінійних ланцюгів; $K(a_i)$ – кількість одиниць у коді стану a_i ; $\mu(a_i)$ – кількість переходів у стан a_i , що не входять до лінійних ланцюгів; H – множина номерів станів автомата; $\sigma(a_i)$ – кількість переходів у стан a_i .

Значення першого доданку у формулі (9) не змінюється, оскільки воно формується на етапі абстрактного синтезу, тому зменшити можна тільки значення другого доданку за рахунок мінімальної кількості одиниць у кодах станів МПА. Саме це досягається за рахунок використання одиничного позиційного (маркувального) коду вигляду (2).

Доведено, що сумарна складність комбінаційних схем МПА в цьому випадку майже удвічі менша в порівнянні з відомими R-автоматами при реальній складності мікропрограм ($N > 5$), а також через відсутність будь-яких обмежень за типами автоматних графів стосовно R-автоматів [23–25].

Висновки

1. Існування таких специфічних кодів, як одиничні коди, які є альтернативними до класичних двійкових кодів, підтверджується їх ефективним застосуванням для вирішення конкретних практичних задач. Це стосується, наприклад, особливостей кодування станів керуючих автоматів.

2. До основних переваг використання одиничного кодування станів мікропрограмних автоматів можна віднести простоту синтезу комбінаційних схем, їх низьку складність та відсутність необхідності декодування (перетворення) кодових комбінацій станів автомата. Це пов'язано, в першу чергу, з усуненням необхідності дешифрації при використанні одиничних кодів для лічби та кодування керуючої інформації.

3. Розрахунок апаратних та часових витрат при реалізації одиничного кодування цифрових даних показав їх вигреш при використанні зсувних регістрів у порівнянні з двійковими лічильниками з деширатором.

Список літератури

- [1] К. Г. Самофалов, В. И. Корнейчук, В. П. Тарасенко, *Электронные цифровые вычислительные машины: учебник для вузов*. Киев, Украина: Вища школа, 1983, 455 с.

- [2] М. П. Матвієнко, *Комп'ютерна логіка: підручник*. Київ, Україна: Видавництво Ліра-К, 2017, 324 с.
- [3] М. Ф. Бондаренко, Н. В. Білоус, А. Г. Руткас, *Комп'ютерна дискретна математика: підручник*. Харків, Україна: «Компанія СМІТ», 2004, 480 с.
- [4] М. П. Матвієнко, В. П. Розен, *Комп'ютерна схемотехніка: навчальний посібник*. Київ, Україна: Видавництво Ліра-К, 2016, 192 с.
- [5] Е. П. Угрюмов, *Цифровая схемотехника: учеб. пособие для вузов*. СПб., Россия: БХВ-Петербург, 2010, 816 с.
- [6] В. П. Кожемяко, *Оптоэлектронные логико-временные информационно-вычислительные среды*. Тбилиси, Грузия: Мецниереба, 1984, 360 с.
- [7] 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.
- [8] В. П. Кожемяко, О. Г. Натрошвили, Т. Б. Мартынюк, Л. Ш. Имнаишвили, *Оптоэлектронная схемотехника: учеб. пособие*. Киев: УМК ВО, 1988, 276 с.
- [9] Т. Б. Мартинюк, О. М. Тарасова, М. М. Аль-Хіярі, «Особливості логіко-часового зображення числової інформації», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 72-76, 2000.
- [10] Т. Б. Мартинюк, М. М. Аль-Хіярі, С. А. Василецький, «Функційна повнота логічно-часового принципу зображення інформації», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2, с. 48-52, 2000.
- [11] Э. Берлекэмп, *Алгебраическая теория кодирования: пер. с англ.*, М., Россия: Мир, 1971, 480 с.
- [12] 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.
- [13] В. П. Кожемяко, Т. Б. Мартинюк, В. В. Дмитрук, В. В. Власійчук, «Класифікація одиничних кодів», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. № 1 (11), с. 36-42, 2006.
- [14] З. Л. Рабинович, В. А. Раманаускас, *Типовые операции в вычислительных машинах*. Киев, Украина: Техніка, 1980, 264 с.
- [15] К. Г. Самофалов, В. И. Корнейчук, А. М. Романкевич, В. П. Тарасенко, *Цифровые многозначные элементы и структуры: учеб. пособие*. Киев, Украина: Вища школа, 1974, 168 с.
- [16] В. П. Кожемяко, Т. Б. Мартинюк, О. І. Суприган, Д. І. Клімкіна, *Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень: монографія*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007, 126 с.
- [17] З. Л. Рабинович, *Основы теории элементарных структур ЭВМ*. М., Россия: Радио и связь. – 1982, 280 с.
- [18] Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев, Е. П. Угрюмов, *Проектирование систем на микросхемах программируемой логики*. СПб., Россия: БХВ-Петербург, 2002, 608 с.
- [19] 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.
- [20] В. П. Кожемяко, Т. Б. Мартынюк, К. В. Кожемяко, «Синтез устройства управления на R-автомате», *Управляющие системы и машины*, № 1/2, с. 22–25, 1995.
- [21] Ю. А. Бузунов, И. Г. Буренков, Н. Н. Шипилов, «Микропрограммные автоматы на параллельно-последовательных структурах», *Управляющие системы и машины*, № 2, с. 26–29, 1982.
- [22] Т. Б. Мартинюк, К. В. Кожемяко, А. В. Кожемяко, «До оцінки складності комбінаційних схем R-автоматів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 31–34, 1997.
- [23] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожемяко, Н. В. Фофанова, «Два варіанти синтезу мікропрограмних R-автоматів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 47–53, 1998.
- [24] Т. Б. Мартынюк, «Особенности синтеза микропрограммных R-автоматов», *Управляющие системы и машины*, № 3, с. 22-26, 1998.
- [25] В. М. Кирпичников, В. А. Скляр, «Синтез микропрограммных автоматов по граф-схемам алгоритмов с малым числом условных вершин», *Управляющие системы и машины*, № 1, с. 77–83, 1978.

Стаття надійшла: 18.08.2021.

References

- [1] K. G. Samofalov, V. I. Kornejchuk, V. P. Tarasenko, *Jelektronnye cifrovye vychislitel'nye mashiny: uchebnyk dlja vuzov*. Kiev, Ukraina: Vishha shkola, 1983, 455 s. – [in Russian].
- [2] M. P. Matviienko, *Kompiuterna lohika: pidruchnyk*. Kyiv, Ukraina: Vydavnytstvo Lira-K, 2017, 324 s. – [in Ukrainian].
- [3] M. F. Bondarenko, N. V. Bilous, A. H. Rutkas, *Kompiuterna dyskretna matematyka: pidruchnyk*. Kharkiv, Ukraina: «Kompaniia SMIT», 2004, 480 s. – [in Ukrainian].

- [4] M. P. Matviienko, V. P. Rozen, *Kompiuterna skhemotekhnika: navchalnyi posibnyk*. Kyiv, Ukraina: Vydavnytstvo Lira-K, 2016, 192 s. – [in Ukrainian].
- [5] E. P. Ugrjumov, *Cifrovaja shemotekhnika: ucheb. posobie dlja vuzov*. SPb., Rossiya: BHV-Peterburg, 2010, 816 s. – [in Russian].
- [6] V. P. Kozhemjako, *Optojelektronnye logiko-vremennye informacionno-vychislitel'nye sredy*. Tbilisi, Gruzija: Mecniereba, 1984, 360 c. – [in Russian].
- [7] S. V. Svechnikov, V. P. Kozhemjako, L. I. Timchenko, *Kvaziimpul'sno-potencial'nye optojelektronnye jelementy i ustrojstva logiko-vremennogo tipa*. Kiev, Ukraina: Naukova dumka, 1987, 256 s. – [in Russian].
- [8] V. P. Kozhemjako, O. G. Natroshvili, T. B. Martynjuk, L. Sh. Imnaishvili, *Optojelektronnaja shemotekhnika: ucheb. posobie*. Kiev: UMK VO, 1988, 276 s. – [in Russian].
- [9] T. B. Martyniuk, O. M. Tarasova, M. M. Al-Khiari, «Osoblyvosti lohiko-chasovoho zobrazhennia chyslovoi informatsii», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 1, s. 72-76, 2000. – [in Ukrainian].
- [10] T. B. Martyniuk, M. M. Al-Khiari, S. A. Vasyletskyi, «Funktsiina povnota lohichno-chasovoho pryntsypu zobrazhennia informatsii», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 2, s. 48-52, 2000. – [in Ukrainian].
- [11] Je. Berlekjemp, *Algebraicheskaia teorija kodirovanija: per. s angl.*, M., Rossiya: Mir, 1971, 480 s.
- [12] T. B. Martyniuk, Mokhamed Salem Nasser, V. V. Vlasiihuk, O. M. Nakonechnyi, «Analiz mozhlyvosti odynychnoho koduvannia chyslovoi informatsii», *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 2 (10), s. 39-44, 2005. – [in Ukrainian].
- [13] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, V. V. Dmytruk, V. V. Vlasiihuk, «Klasyfikatsiia odynychnykh ko-div», *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*. № 1 (11), s. 36-42, 2006. – [in Ukrainian].
- [14] Z. L. Rabinovich, V. A. Ramanauskas, *Tipove operacii v vychislitel'nyh mashinah*. Kiev, Ukraina: Tehnika, 1980, 264 s. – [in Russian].
- [15] K. G. Samofalov, V. I. Kornejchuk, A. M. Romankevich, V. P. Tarasenko, *Cifrovyje mnogoznachnye jelementy i struktury: ucheb. Posobie*. Kiev, Ukraina: Vishha shkola, 1974, 168 s. – [in Russian].
- [16] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, O. I. Supryhan, D. I. Klimkina, *Kvantovi peretvoriuvachi na optoelektronnykh lohiko-chasovykh seredovyshchakh dlia okoprotsesornoj obrobky zobrazhen: monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2007, 126 c. – [in Ukrainian].
- [17] Z. L. Rabinovich, *Osnovy teorii jelementnyh struktur JeVM*. M., Rossiya: Radio i svjaz'. – 1982, 280 s. – [in Russian].
- [18] R. I. Grushvickij, A. X. Mursaev, E. P. Ugrjumov, *Proektirovanie sistem na mikroshemah programiruemoj logiki*. SPb., Rossiya: BHV-Peterburg, 2002, 608 s. – [in Russian].
- [19] 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. Ju. G. Karpov, *Teoriia avtomatov*. SPb., Rossiya: Piter, 2003, 208 s. – [in Ukrainian].
- [20] V. P. Kozhemjako, T. B. Martynjuk, K. V. Kozhemjako, «Sintez ustrojstva upravlenija na R-avtomate», *Upravljajushhie sistemy i mashiny*, № 1/2, s. 22–25, 1995. – [in Russian].
- [21] Ju. A. Buzunov, I. G. Burenkov, N. N. Shipilov, «Mikroprogrammnye avtomaty na parallel'no-posledovatel'nyh strukturah», *Upravljajushhie sistemy i mashiny*, № 2, s. 26–29, 1982. – [in Russian].
- [22] T. B. Martyniuk, K. V. Kozhemiako, A. V. Kozhemiako, «Do otsinky skladnosti kombinatsiinykh skhem R-avtomativ», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 1, s. 31–34, 1997. – [in Russian].
- [23] 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].
- [24] T. B. Martynjuk, «Osobennosti sinteza mikroprogrammnykh R-avtomatov», *Upravljajushhie sistemy i mashiny*, № 3, s. 22-26, 1998. – [in Ukrainian].
- [25] V. M. Kirpichnikov, V. A. Skljarov, «Sintez mikroprogrammnykh avtomatov po graf-sheham algoritmov s malym chislom uslovnyh vershyn», *Upravljajushhie sistemy i mashiny*, № 1, s. 77–83, 1978. – [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.

Т. Б. Мартынюк, Е. В. Войцеховская

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕДИНИЧНОГО КОДИРОВАНИЯ
ДАНЫХ**

Винницкий национальный технический университет, Винница

T. B. Martyniuk, O. V. Voytsekhovska

EFFICIENCY OF UNIT DATA ENCODING

Vinnitsya National Technical University, Vinnitsia