

УДК 004.93

Т. Б. Мартинюк, М. О. Зайцев, М. В. Микитюк

## ОСОБЛИВОСТІ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ В ЛОГІКО-ЧАСОВОМУ БАЗИСІ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Анотація.** Перехід від вхідної аналогової інформації, зокрема, у вигляді візуальної картини, до її цифрового подання для подальшої обробки неможливий без застосування аналого-цифрового перетворення. На теперішній час існує багато ефективних методів та засобів перетворення. Разом з тим, знаходять застосування альтернативні до класичних способи аналого-цифрового перетворення. Серед них слід відмітити способи, що базуються на принципі «золотого перерізу» з формуванням цифрових даних у вигляді кодів Фібоначчі, а також спосіб перетворення у логіко-часовому базисі з формуванням цифрових даних у вигляді одиничних кодів. Особливістю аналого-цифрового перетворення у логіко-часовому базисі є використання способу часо-імпульсного перетворення. Цей спосіб перетворення базується на квантуванні за одиничною тривалістю  $\tau$  вхідної часової тривалості оптичного сигналу. В даній роботі розглянуто особливості аналого-цифрового перетворення в логіко-часовому базисі, а також властивості одиничних кодів, у вигляді яких формуються результуючі цифрові сигнали. Проаналізовано два різновиди одиничних кодів, нормального та позиційного, їх завадостійкість. Ця властивість одиничних кодів дозволяє використовувати їх для передачі даних, кодування станів у пристроях керування, адресації вмісту у запам'ятовуваних пристроях.

**Ключові слова:** аналого – цифрове перетворення, логіко – часовий базис, одиничний код.

**Аннотация.** Переход от входной аналоговой информации, в частности, в виде визуальной картины, к ее цифровому представлению для дальнейшей обработки невозможен без применения аналого-цифрового преобразования. В настоящее время существует много эффективных методов и средств аналого - цифрового преобразования. Вместе с тем, находят применение альтернативные по отношению к классическим способы аналого - цифрового преобразования. Среди них следует отметить способы, основанные на принципе «золотого сечения» с формированием цифровых данных в виде кодов Фибоначчи, а также способ преобразования в логико-временном базисе с формированием цифровых данных в виде единичных кодов. Особенностью аналого - цифрового преобразования в логико - временном базисе является использование способа время - импульсного преобразования. Этот способ преобразования базируется на квантовании с единичной длительностью  $\tau$  входной временной длительности оптического сигнала. В данной работе рассмотрены особенности аналого - цифрового преобразования в логико - временном базисе, а также свойства единичных кодов, посредством которых формируются результирующие цифровые сигналы. Проанализированы две разновидности единичных кодов, нормального и позиционного, их помехоустойчивость. Это свойство единичных кодов позволяет использовать их для передачи данных, кодирования состояний в устройствах управления, адресации содержимого в запоминающих устройствах.

**Ключевые слова:** аналого - цифровое преобразование, логико - временной базис, единичный код.

**Abstract.** The transition from analog information, in particular, in the form of visual picture, to its digital representation for the further processing is impossible without the use of analog-digital conversion. There are many effective methods and tools for analog-digital conversion nowadays. It is needed to admit the methods based on the principle of «golden ratio» with the formation of digital data in the Fibonacci codes form among them, as well as the method of transformation in the logic-time basis with the digital data formation in the form of unit codes. A feature of analog-digital conversion in the logic-time basis is the use of the method of time-pulse conversion. This conversion method is based on quantization by the unit duration  $\tau$  of the input time duration of the optical signal. This paper reviews the features of analog-digital conversion in the logic-time basis, as well as the properties of unit codes, in the form of which the resulting digital signals are formed. Two types of unit codes, normal and positional, of their noise stability are analyzed. This property of unit codes allows them to be used for data transmission, state coding in control devices, content addressing in storage devices.

**Key words:** analog-digital conversion, logic-time basis, unit code.

**DOI:** <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-80-85>.

### Вступ

В процесі попередньої обробки, аналізу та розпізнавання візуальної інформації важливе місце займає аналого-цифрове (АЦ) перетворення вхідної інформації у її цифрове подання. На теперішній час розроблено і впроваджено багато різноманітних засобів – аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), а сам процес АЦ перетворення досліджено достатньо докладно з точки зору його швидкодії, завадостійкості, апаратних витрат, споживаної потужності [1-4].

### Актуальність

Для АЦ перетворення важливим є форма і спосіб надходження як вхідної інформації, зокрема, зображення, так і цифрового представлення вихідних даних. Найбільш розповсюдженим є подання вихідних даних АЦП у вигляді двійкових кодів [3,4]. Разом з тим, знаходять своє ефективне застосування АЦП, які використовують в процесі АЦ перетворення альтернативні методи, наприклад, правило “золотого перерізу” із застосуванням кодів Фібоначчі [5,6]. Ще одним варіантом альтернативного АЦ перетворення є застосування логіко – часового (ЛЧ) базису з результуючим поданням інформації у вигляді одиничних кодів [7,8].

### Мета

Метою роботи є аналіз особливостей аналого – цифрового перетворення в логіко – часовому базисі, враховуючи формування результату перетворення у вигляді одиничних кодів.

### Постановка задачі

Професором Кожем'якою В.П. в його роботах [7,8] дано визначення базових положень ЛЧ підходу до перетворення візуальної інформації, а також подання та обробки числової інформації у специфічному

одиночному коді. В теоретичному плані в основі ЛЧ базису використовується принцип "квантування часу світловим променем, що несе у своїй тривалості інформацію" [7]. Отже, основним інформаційним параметром є час (його тривалість), а обробка інформації виконується за принципами картинної логіки, тобто з максимально припустимим паралелізмом по двовимірному полю зображення [8]. Тому такий підхід до перетворення та обробки інформації отримав назву логіко-часового [7,8].

На рис.1 показано графічне подання процесу АЦ перетворення в ЛЧ базисі. Фактично цей процес представляє різновид імпульсно – кодової модуляції (ІКМ) [9]. Відмінність полягає в тому, що вхідною є тривалість оптичного, а не електричного сигналу, а вихідні імпульси формують одиничний код на виході. Отже, такий варіант АЦ перетворення можна розглядати також як часово – імпульсне перетворення.

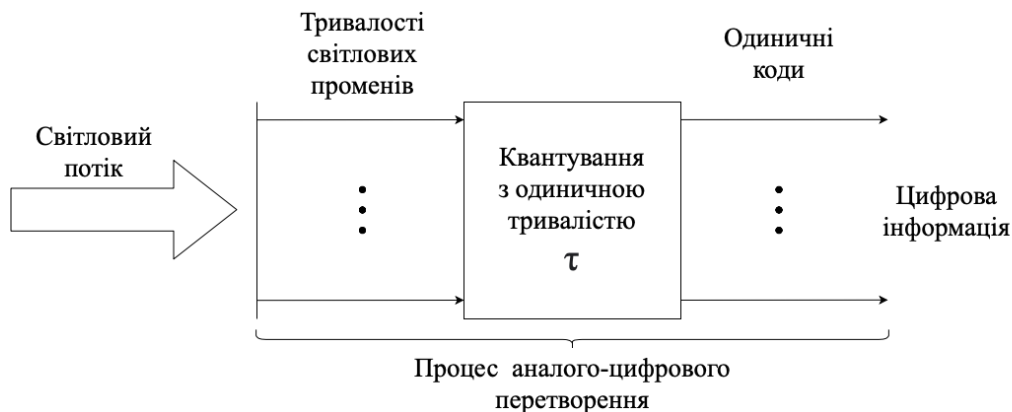


Рисунок 1 – Аналого – цифрове перетворення у логіко – часовому базисі

#### Основи логіко-часового базису

В основі такого АЦ перетворення (рис. 1), яке базується на квантування за одиничною тривалістю  $\tau$  вхідної часової тривалості оптичної інформації, використовуються прості операції лічби, затримки і зсуву. В роботах [10,11] докладно досліджено ЛЧ функції (ЛЧФ): їх матмоделі, властивості та області математичного застосування, наприклад, для реверсивної лічби, реверсивного зсуву, паралельного порівняння та підсумовування групи часових тривалостей. Ці виділені основні операції фактично формують функціонально – повний набір операцій для арифметично – логічної обробки над операндами, що подаються часовими тривалостями.

Особливий інтерес серед визначених операцій представляє ЛЧ реверсивний зсув, оскільки реалізація цієї операції має просторово – розподілений вигляд [12] і не потребує додаткового апаратного перетворення. Крім того, реалізація цієї операції забезпечує природний паралелізм при виконанні таких масових асоціативно – логічних операцій, як визначення співвідношень ( $=$ ,  $>$ ,  $<$ ), виявлення найменшого операнда серед інших, сортування операндів з формуванням їх рангів [11].

Стосовно ЛЧ функцій необхідно також відмітити, що вони представляють собою багатозначні ( $k$  - значні) функції, для яких визначено їх функціональну повноту. Відомо, що надлишкова базисна система, яка містить всі константи та логічні функції вигляду:

$$\begin{aligned}x_1 \vee x_2 &= \max(x_1, x_2) \\x_1 \wedge x_2 &= \min(x_1, x_2)\end{aligned}\quad (1)$$

$$J_s(x) = \begin{cases} k-1, & \text{якщо } x = s, \quad s = \overline{0, k-1}, \\ 0, & \text{якщо } x \neq s, \end{cases}$$

а також такі операції:

$$\begin{aligned}x^i &= x + i(\text{mod } k) \\ \tilde{x} &= (k-1) - x(\text{mod } k)\end{aligned}\quad (2)$$

$$J(x_1, x_2) = \begin{cases} k-1, & \text{якщо } x_1 = x_2, \\ 0, & \text{якщо } x_1 \neq x_2, \end{cases}$$

є повною системою, оскільки містить повну систему Россера-Т'юкетта і Поста [13].

В роботі [14] доведено, що, використовуючи ЛЧ функції, можна реалізувати всі складові повної системи Россера-Т'юкетта і Поста, оскільки існує пряма залежність між кількістю  $n$  встановлених в одиничний стан двійкових елементів багатозначного запам'ятовуючого елемента та тривалістю  $\theta$  вхідного сигналу, тобто:

$$\theta = n \cdot \tau, \quad (3)$$

де  $\tau$  – час спрацювання бістабільного елемента.

Фактично, формула (3) пояснює процес АЦ перетворення в ЛЧ базисі [7,8], а також дозволяє ототожнювати логічні функції (1) відповідно з операціями диз'юнкції, кон'юнкції та інверсії, оскільки основна інформація про ЛЧ функцію міститься в тривалості часових відрізків (інтервалів) її існування [14].

#### Властивості одиничних кодів

Особливості ЛЧ зображення числової інформації детально розглянуто у роботі [15], де досліджено два варіанти ЛЧ кодів (ЛЧК), а саме, одиничний нормальний та одиничний позиційний коди. Для наочності представлення двійкових кодових комбінацій цифр у системі числення з основою  $r$  доцільно використати матрицю кодування розмірністю  $r \times n$  вигляду [16]:

$$D_r^n = \begin{pmatrix} \alpha_{0,0} & \alpha_{0,j} & \alpha_{0,n-1} \\ \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{r-1,0} & \alpha_{r-1,j} & \alpha_{r-1,n-1} \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \rightarrow j \\ \downarrow i \end{matrix} \quad (4)$$

де  $r$  – основа числення;  $n$  – кількість двійкових розрядів;  $\alpha_{i,j}$  – біт представлення розряду,  $\alpha_{i,j} \in \{0,1\}$ .

Отже, матриця кодування (4) формується шляхом співставлення кожному можливому значенню цифри  $a_i \in \{0, \dots, r-1\}$  відповідних наборів двійкових кодів фіксованої розрядності  $n$ . В цьому випадку одиничне кодування десяткових цифр при максимальній кількості розрядів  $n_{max} = 10$  можна подати у вигляді матриці кодування (4) таким чином:

$$D_{10}^{10} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \rightarrow j \\ \downarrow i \end{matrix} \quad (5)$$

де рядки матриці представляють коди десяткових цифр  $a_i \in \{0, \dots, 9\}$ , а стовпці відповідають двійковим розрядам  $j \in \{0, \dots, 9\}$  кожного коду цифри  $a_i$  [15].

Таким чином, для даного одиничного кодування виконується умова для ваг  $\varphi_j$  кожного розряду:

$$\varphi_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j > 0, \\ 0, & \text{якщо } j = 0, \end{cases} \quad (6)$$

тобто ваги всіх  $n$  розрядів одиничного коду представляють собою такий числовий ряд:

$$\underbrace{0, 1, 1, \dots, 1}_n \quad (7)$$

Отже, представлений у вигляді матриці кодування (5) одиничний код, який є надлишковим кодом з постійними (одиничними) вагами розрядів, крім нульового розряду, названо одиничним нормальним кодом [8]. Особливістю цього коду є те, що будь-яка цифра  $a_i$ , навіть нуль, відображається послідовністю одиниць, починаючи з 0-го і до  $n$ -го розрядів ( $n = 0, \dots, r-1$ ), зважена сума яких формує значення відповідної цифри.

Другий варіант одиничного коду, а саме, одиничний позиційний код, можна подати у вигляді такої матриці кодування:

$$D_{i0}^{10}(n) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

де ваги  $\varphi_n$  розрядів мають вигляд:

$$\varphi_n = \sum_{j=0}^n \varphi_j \quad (9)$$

Для цього випадку кодування ваги всіх  $n$  розрядів одиничного коду представляють собою нуль і натуральний ряд чисел:

$$\underbrace{0, 1, 2, \dots, 9}_n \quad (10)$$

оскільки в результаті виконання умови (9) в одиничних комбінаціях (8) послідовність з  $n$  одиниць замінюється одиничним маркером в  $i$ -й позиції кодової комбінації відповідної цифри  $a_i$ . Таким чином, при одиничному позиційному кодуванні використовується позиційний принцип подання цифр [8,15,16].

Крім того, одиничний нормальний код можна вважати окремим випадком узагальнених  $p$ -кодів Фібоначчі, якщо  $p = \infty$  [17]. Крім того, у роботі [14] доведено, що ЛЧ коди мають властивість адаптивності, доповняльності й впорядкованості, що дозволяє реалізувати функціонально – повну базисну систему для виконання арифметично – логічних операцій.

У класифікаційній системі кодів за базовими ознаками одиничні коди виділяють за кількістю імпульсних ознак [18] поряд з двійковими та багатопозиційними (багатозначними) кодами [19]. В результаті аналізу одиничних кодів з позицій класичної теорії кодування їх можна класифікувати як окрему групу кодів зі специфічними властивостями [18].

У роботах [20,21] детально досліджено обидва одиничних кода за такими ознаками, як теоретична контролездатність, контролездатність за модифікованою перевіркою матрицею, еквідистантність, надлишковість, систематичність, лінійність, циклічність, рівномірність, рівнозваженість. Для цього було використано такі поняття алгебраїчної теорії кодування, як матриця кодування, блокова довжина, перевірна матриця, синдром, кодова попарна відстань, вага слова, суміжний клас, лідер. Все це дозволяє не тільки класифікувати код, але й визначити його завадостійкість та контролездатність. Результати дослідження показали, що обидва одиничних кода належать до нелінійних кодів і мають надлишковість інформаційних позицій (розрядів), що приводить до підвищення рівня їх реальної контролездатності у порівнянні з теоретичною [20]. Крім того, одиничні коди мають просте синдромне декодування за аналогією з кодом Хеммінга, оскільки відхилення у позиціях (розрядах) сформованого синдрому у порівнянні з правильним синдромом для кожного з двох одиничних кодів вказує на конкретну помилкову позицію у прийнятому слові [20].

Відомо, що найбільш поширеними областями застосування завадостійких кодів, до яких належать одиничні коди, є не тільки виявлення та виправлення помилок при передачі даних, але й кодування станів керуючих автоматів у пристроях керування та адресація інформації у запам'ятовуючих пристроях обчислювальної техніки [20,22]. Так доведено доцільність використання одиничного кодування станів мікропрограмних  $R$  – автоматів (RA) для граф – схем алгоритмів зі значною розгалуженою структурою [23]. Одиничне кодування в цьому випадку дозволяє не тільки зменшити складність логічного перетворювача, але й спростити процес синтезу RA, який реалізується на паралельно – послідовних (зсувних) регістрах. Збільшення складності запам'ятовуючої частини RA, яке виникає при цьому, легко реалізується при використанні ПЛІС.

Разом з тим, необхідно відмітити, що одиничні коди не можуть замінити такі універсальні коди, як двійкові та десятковий.

### Висновки

1. Аналого – цифрове перетворення, що використовується в логіко – часовому базисі, фактично представляє собою часово – імпульсне перетворення тривалості вхідного оптичного сигналу в цифровий

одиночний код. При цьому виконується квантування за одиночною тривалістю  $\tau$  вхідної часової тривалості оптичного сигналу.

2. Використовуючи логіко – часові функції, що формують логіко – часовий базис, можна реалізувати всі складові повної системи Россера – Т'юкетта і Поста як надлишкової базисної системи, що забезпечує їх функціональну повноту.

3. Аналіз одиночних кодів, нормального і позиційного, показав їх властивості як завадостійких кодів, що складають окрему групу за класифікаційною системою кодів, враховуючи кількість імпульсних ознак. Одиночні коди як альтернатива двійковим кодам можуть використовуватись як завадостійкі коди при передачі даних, у пристроях керування при кодуванні їх станів, а також у запам'ятовуючих пристроях при адресації їх вмісту.

#### Список літератури

- [1] Э. И. Гитис, Е. А. Пискунов, *Аналого–цифровые преобразователи*. М., Россия: Энергоатомиздат, 1981.
- [2] Ю. Р. Гнатек, *Справочник по цифро-аналоговым и аналого-цифровым преобразователям*. М., Россия: Радио и связь, 1982.
- [3] У. Титце, К. Шенк, *Полупроводниковая схемотехника. Справочное руководство*. пер. с нем. М., Россия: Мир, 1983.
- [4] П. Хоровиц, У. Хилл, *Искусство схемотехники*: пер. с англ. Т.2. М., Россия: Мир, 1983.
- [5] О. Д. Азаров, *Основы теории аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення*. Монографія. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2004.
- [6] О. Д. Азаров, *Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю*. Монографія. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2010.
- [7] В. П. Кожемяко, *Оптоэлектронные логико-временные информационно-вычислительные среды*. Тбилиси, Грузия: Изд-во Мецниереба, 1984.
- [8] С. В. Свечников, В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко, *Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа*. Киев, Украина: Наук. думка, 1987.
- [9] В. А. Погрибной, *Бортовые системы обработки сигналов*. Киев, Украина: Наук. думка, 1984.
- [10] В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко, Г. Л. Лысенко, Ю. Ф. Кутаев, *Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники*. Киев, Украина: УМК ВО, 1990.
- [11] 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.
- [12] V. Kozhemiako, T. Martyniuk, O. Kozhemiako, «Vector-matrix conversions for parallel information processing in logic-time base», *Proceedings of SPIE*, Vol. 4425. pp. 106-108. 2001.
- [13] К. Г. Самофалов, В. И. Корнейчук, А. М. Романкевич, В. П. Тарасенко, *Цифровые многозначные элементы и структуры*. Киев, Украина: Вища школа, 1974.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] З. Л. Рабінович, В. А. Раманаускас, *Типовые операции в вычислительных машинах*. Киев, Украина: Техніка, 1980.
- [17] А. П. Стахов, *Введение в алгоритмическую теорию измерения*. М., Россия: Сов. радио, 1977.
- [18] В. П. Кожемяко, Т. Б. Мартинюк, В. В. Дмитрук, В. В. Власійчук, «Класифікація одиночних кодів», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №1(11), с. 36-42, 2006.
- [19] Э. Берлекэмп, *Алгебраическая теория кодирования*: пер. с англ. М., Россия: Мир, 1971.
- [20] Т. Б. Мартинюк, Мохамед Салем Нассер, В. В. Власійчук, О. М. Наконечний, «Аналіз можливостей одиночного кодування числової інформації», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №2(10), с. 39-44, 2005.
- [21] Т. Б. Мартинюк, О. М. Тарасова, М. А. Очуров, П. М. Павлов, «Особливості одиночного кодування інформації», *Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації*: 6-а міжнар. наук.-практ. конф., 24-25 жовтня 2017 р.: праці. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2017, с.10-12.
- [22] М. А. Гаврилов, В. В. Девятков, Э. И. Пупырев, *Логическое проектирование дискретных автоматов: Языки, методы, алгоритмы*. М., Россия: Наука, 1977.
- [23] 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.

Стаття надійшла: 21.02.2021.

#### References

- [1] E. I. Gitis, E. A. Piskunov, *Analogo–tsifrovye preobrazovateli*. М., Rossiya: Energoatomizdat, 1981.
- [2] Yu. R. Gnatek, *Spravochnik po tsifro-analogovym i analogo-tsifrovym preobrazovatelyam*. М., Rossiya: Radio i svyaz, 1982.
- [3] U. Tittse, K. Shenk, *Poluprovodnikovaya skhemotekhnika. Spravochnoe rukovodstvo. per. s nem.* М., Rossiya: Mir, 1983.

- [4] P. Khorovits, U. Khill, *Iskusstvo skhemotekhniki: per. s angl.* T.2. M., Rossiya: Mir, 1983.
- [5] O. D. Azarov, *Osnovy teorii analoho-tsyfrovoho peretvorennia na osnovi nadlyshkovykh pozytsiinykh system chyslennia. Monohrafiia.* Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM, 2004.
- [6] O. D. Azarov, *Analoho-tsyfrove porozriadne peretvorennia na osnovi system chyslennia z vahovoiu nadlyshkovistiu. Monohrafiia.* Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM, 2010.
- [7] V. P. Kozhemyako, *Optoelektronnye logiko-vremennyye informatsionno-vychislitelnye sredy.* Tbilisi, Gruzija: Izd-vo Metsniereba, 1984.
- [8] S. V. Svechnikov, V. P. Kozhemyako, L. I. Timchenko, *Kvaziimpulsno-potentsialnye optoelektronnye elementy i ustroystva logiko-vremennogo tipa.* Kiev, Ukraina: Nauk. dumka, 1987.
- [9] V. A. Pogribnoi, *Bortovye sistemy obrabotki signalov.* Kiev, Ukraina: Nauk. dumka, 1984.
- [10] V. P. Kozhemyako, L. I. Timchenko., G. L. Lysenko, Yu. F. Kutaev, *Funktsionalnye elementy i ustroystva optoelektroniki.* Kiev, Ukraina: UMK VO, 1990.
- [11] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, O. I. Supryhan, D. I. Klimkina, *Kvantovi peretvoriuvachi na optoelektronnykh lohiko-chasovykh seredovishchakh dlia oko-protsesornoї obrobky zobrazen. Monohrafiia.* Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2007.
- [12] V. Kozhemiako, T. Martyniuk, O. Kozhemiako, «Vector-matrix conversions for parallel information processing in logic-time base», *Proceedings of SPIE*, Vol. 4425. pp. 106-108, 2001.
- [13] K. G. Samofalov, V. I. Korneichuk, A. M. Romankevich, V. P. Tarasenko, *Tsifrovye mnogoznachnye elementy i struktury.* Kiev, Ukraina: Vishcha shkola, 1974.
- [14] T. B. Martyniuk, M. M. Al-Khiiari, S. A. Vasyletskyi, «Funktsiina povnota lohichno-chasovoho pryntsyphu zobrazhennia informatsii», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, №2, s.48-52, 2000.
- [15] T. B. Martyniuk, O. M. Tarasova, M. M. Al-Khiiari, «Osoblyvosti lohiko-chasovoho zobrazhennia chyslovoi informatsii», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, №1, c.72-76, 2000.
- [16] Z. L. Rabinovich, V. A. Ramanauskas, *Tipovye operatsii v vychislitelnykh mashinakh.* Kiev, Ukraina: Tekhnika, 1980.
- [17] A. P. Stakhov, *Vvedenie v algoritmicheskuyu teoriyu izmereniya.* M., Rossiya: Sov. radio, 1977.
- [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.
- [19] E. Berlekemp, *Algebraicheskaia teoriya kodirovaniya: per. s angl.* M., Rossiya: Mir, 1971.
- [20] T. B. Martyniuk, Mokhamed Salem Nasser, V. V. Vlasichuk, O. M. Nakonechnyi, «Analiz mozhlyvostei odynychnoho koduvannia chyslovoi informatsii», *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, №2(10), s. 39-44, 2005.
- [21] T. B. Martyniuk, O. M. Tarasova, M. A. Ochukurov, P. M. Pavlov, «Osoblyvosti odynychnoho koduvannia informatsii», *Metody ta zasoby koduvannia, zakhystu i ushchilnennia informatsii: 6-a mizhnar. nauk.-prakt. konf., 24-25 zhovtnia 2017 r.: pratsi.* Vinnytsia, Ukraina: VNTU, 2017, s. 10-12.
- [22] M. A. Gavrillov, V. V. Devyatkov, E. I. Pupyrev, *Logicheskoe proektirovanie diskretnykh avtomatov: Yazyki, metody, algoritmy.* M., Rossiya: Nauka, 1977.
- [23] 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.

#### Відомості про авторів

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

**Зайцев Микола Олександрович** – аспірант факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

**Микитюк Максим Васильович** – аспірант факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

T. B. Martyniuk, N. O. Zaitsev, M. V. Mykytiuk

## ОСОБЕННОСТИ АНАЛОГО – ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЛОГИКО – ВРЕМЕННОМ БАЗИСЕ

Винницький національний технічний університет, Вінниця

T. B. Martyniuk, N. O. Zaitsev, M. V. Mykytiuk

## FEATURES OF ANALOG-DIGITAL CONVERSION IN A LOGIC-TIME BASIS

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia