

А. Г. Лукашенко, к.т.н., с.н.с.

Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України
вул. Боженка, 11, м. Київ-150, 03680, Україна

КОРТЕЖНИЙ ТАБЛИЧНО-ЛОГІЧНИЙ МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ ЦИФРОВОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ОБЧИСЛЮВАЧА

Метод містить: створення відповідних вхідних та вихідних кодових таблиць для поставленої задачі; визначення швидкодіючого методу апаратурної реалізації для відтворення функцій; формування малорозрядних кортежів вхідних та вихідних кодів; проведення порівняльного аналізу визначених кортежів за допомогою алгебри Жегалкіна; визначення значень корегуючих констант для формування вихідної кодової інформації шифратора; побудову моделі цифрового багатофункціонального обчислювача.

Ключові слова: математична модель, морфологія, коди, метод, функція.

Актуальність. Одним із важливих типів укрупнених операторів у задачах керування рухом автономних фізичних об'єктів (наприклад, формування конфігурації лазерного випромінювання за допомогою мікропроцесорних систем) є оператори обчислення елементарних функцій (ЕФ). Час, необхідний для реалізації ЕФ з використанням програмних методів, може становити більше 50 % часу рішення всієї задачі [1, 6–8].

Досягнення максимальної ефективності, за словами академіка В. М. Глушкова, значною мірою визначається оптимальним співвідношенням програмних і апаратурних засобів систем обробки інформації. Це обумовлено тим, що вартість електронних компонентів постійно зменшується, проте витрати на програмну частину неухильно зростають.

Питанням побудови високопродуктивних компонентів, у тому числі мікросхем напівпровідникової пам'яті для обчислювальних систем, присвячено ряд робіт А. J. Van de Goor, Y. Zorian, W. Bucklen, D. J. Eldod, F. Schirm, D. F. Davis, I. Watson, J. Guard, N. Takahachi, M. Amamiga, А. Д. Азарова, В. І. Корнейчука, А. М. Оранського, В. Д. Пузанкова, К. Г. Самофалова, В. Б. Смолова, В. П. Тарасенка та інших, в яких використовується класичний табличний метод апаратурної реалізації [1–5].

Істотними недоліками цього методу при обробці операндів з багатьма n розрядами за допомогою напівпровідникової пам'яті типу ПЛМ, СППЗП, ЕСППЗП або з періодичною регенерацією ДЗПДВ та інших, наприклад, для $n \geq 32$, є:

- збільшення ймовірності отримання вихідної інформації з похибкою при записі або перезаписі її до шифратора пам'яті;
- зменшення часу напрацювання на відмову ($T_{від}$);
- зменшення відсотка виходу придатних кристалів з пластини.

Це обумовлено тим, що об'єм шифратора (V) залежить від розрядності (n) операндів і визначається за формулою

$$V = (2^n - 1) \cdot n,$$

для $n = 32$ об'єм шифратора дорівнює

$$V = (2^{32} - 1) \cdot 32 \approx 10^{11} \text{ біт.}$$

Враховуємо, що інтенсивність відмови одного елемента дорівнює $\lambda = 10^{-9}$, тоді час напрацювання до відмови ($T_{від}$) приведенного компонента дорівнює

$$T_{від} \approx 10^{11} \cdot 10^{-9} = 100 \text{ годин,}$$

це не відповідає вимогам мікропроцесорних систем керування.

Зменшити об'єм шифратора дозволяють таблично-алгоритмічні методи за рахунок використання методів введення корегуючих констант та деяких або арифметичних, або логічних операцій.

Отже, створення морфоструктури пам'яті для обробки прецизійної інформації в спеціалізованих таблично-алгоритмічних сопроцесорах (СТАС), яка забезпечує швидкодію, адекватну класичним табличним моделям, високу надійність, високий відсоток ви-

ходу придатних кристалів з пластини, є задачею актуальною.

Метою роботи є підвищення ефективності спеціалізованих таблично-алгоритмічних сопроцесорів за рахунок розробки нового методу побудови морфоструктури шифратора пам'яті.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

- створити відповідні кодові таблиці, що вирішують коло поставлених задач, та визначити метод апаратної реалізації;

- сформувані кортежі вхідних кодів аргументів і відповідні їм кортежі вихідних кодів заданих функцій;

- провести порівняльний аналіз відповідних кортежів вхідних і вихідних кодів послідовностей за допомогою алгебри Жегалкіна для визначення корегуючих констант;

- визначити кількість однакових корегуючих констант для формування інформації на виході морфоструктури шифратора;

- побудувати модель морфоструктури шифратора для сопроцесора, що вирішує коло поставлених задач.

Рішення задачі. Особливістю проектування та виготовлення спеціалізованих табличних сопроцесорів є те, що заздалегідь відомо, яким вхідним кодовим комбінаціям інформації відповідають вихідні кодові послідовності на зазначеній ділянці аргументу x і методична похибка.

Рішення поставлених задач показано на прикладі відтворення множини заданих функціональних залежностей:

$$Y_s = \sin(x); Y_{tg} = tg(x); Y_{th} = th(x), \quad (1)$$

де $x \in (a, \dots, b)$, похибка $\delta = 2^{-(n-1)}$.

У табл. 1 приведені результати створення відповідних значень функції (1) на ділянці аргументу $x \in (0,2, \dots, 0,3)$ при $n = 8$.

Для верифікації значення аргументу x представлені в двійковій та десятковій системах числення.

Сформовано r -розрядні кортежі вхідних кодів аргументів та відповідні r -розрядні кортежі вихідних кодів заданих функцій, при цьому $r < n$ і кожний відповідний кортеж аргументу x_{1ai}, x_{2ai} відповідає корелятивному кортежу поліномів відповідних функцій:

$$Y_{1si}, Y_{2si}; Y_{1tgi}, Y_{2tgi}; Y_{1thi}, Y_{2thi}. \quad (2)$$

Порівняльний аналіз відповідних кортежів вихідних та вхідних кодів послідовностей за допомогою алгебри Жегалкіна проводиться наступним чином.

Кодові послідовності кожної функції, які зображені кортежами (2), записуються малорозрядними поліномами таким чином:

$$Y_{1si} = f_{1si} s_{1si} \dots h_{1si} = f_{1si} g^{(n-1)-ri} + s_{1si} g^{(n-2)-ri} + \dots + h_{1si} g^{(n-r)-ri};$$

$$Y_{2si} = f_{2si} s_{2si} \dots h_{2si} = f_{2si} g^{(n-1)-ri} + s_{2si} g^{(n-2)-ri} + \dots + h_{2si} g^{(n-r)-ri};$$

$$Y_{1tgi} = f_{1tgi} s_{1tgi} \dots h_{1tgi} = f_{1tgi} g^{(n-1)-ri} + s_{1tgi} g^{(n-2)-ri} + \dots + h_{1tgi} g^{(n-r)-ri};$$

$$Y_{2tgi} = f_{2tgi} s_{2tgi} \dots h_{2tgi} = f_{2tgi} g^{(n-1)-ri} + s_{2tgi} g^{(n-2)-ri} + \dots + h_{2tgi} g^{(n-r)-ri};$$

$$Y_{1thi} = f_{1thi} s_{1thi} \dots h_{1thi} = f_{1thi} g^{(n-1)-ri} + s_{1thi} g^{(n-2)-ri} + \dots + h_{1thi} g^{(n-r)-ri};$$

$$Y_{2thi} = f_{2thi} s_{2thi} \dots h_{2thi} = f_{2thi} g^{(n-1)-ri} + s_{2thi} g^{(n-2)-ri} + \dots + h_{2thi} g^{(n-r)-ri}.$$

Кодові послідовності аргументу x , які зображені кортежами x_{1i}, x_{2i} , представляються у вигляді малорозрядних поліномів:

$$x_{1ai} = c_{1ai} d_{1ai} \dots l_{1ai} = c_{1ai} g^{(n-1)-ri} + d_{1ai} g^{(n-2)-ri} + \dots + l_{1ai} g^{(n-r)-ri};$$

$$x_{2ai} = c_{2ai} d_{2ai} \dots l_{2ai} = c_{2ai} g^{(n-1)-ri} + d_{2ai} g^{(n-2)-ri} + \dots + l_{2ai} g^{(n-r)-ri}.$$

Визначення різниці Δ_i між відповідними значеннями кортежів аргументу та корелятивними величинами відповідних функцій проводиться за допомогою їх складання по mod 2, що відповідає функції алгебри логіки «відкидання рівнозначності».

Значення Δ_i є коригувальними константами для відповідних кортежів і визначаються малорозрядними поліномами таким чином:

$$\Delta_i = (f_i \oplus c_i) g^{(n-1)-ri} + (s_i \oplus d_i) g^{(n-2)-ri} + \dots + (h_i \oplus l_i) g^{(n-r)-ri} = F_i N_i \dots Z_i, \quad (3)$$

$$\text{де } F_i = (f_i \oplus c_i);$$

$$N_i = (s_i \oplus d_i);$$

$$Z_i = (h_i \oplus l_i);$$

f_i, s_i, h_i – доданки кортежних поліномів функцій $Y_{1si}, Y_{2si}, Y_{1tgi}, Y_{2tgi}, Y_{1thi}, Y_{2thi}$;

c_i, d_i, l_i – доданки кортежних поліномів аргументу x_{1ai}, x_{2ai} .

Отже, відтворення значення функції з урахуванням кортежних поліномів констант Δ_i та кортежних поліномів аргументу x_i здійснюється за формулою

$$Y_i(x_i) = (F_i \oplus c_i) g^{(n-1)-ri} + (N_i \oplus d_i) g^{(n-2)-ri} + \dots + (Z_i \oplus l_i) g^{(n-r)-ri}. \quad (4)$$

Значення корегуючих констант Δ_i за результатами порівняльного аналізу для відповідних кортежів вхідних та вихідних кодів послідовностей за допомогою алгебри Жегалкіна представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Коди функціональних залежностей та значення по кортежах корегуючих констант для функцій $Y = \sin(x); Y = tg(x); Y = th(x)$ при $n = 8$

№	Значення аргументу x у системі числення			Значення функцій у двійковій системі числення						Значення корегуючих констант по кортежах у десятковій системі числення					
	двійковий		десятьковий	$Y_s = \sin(x)$		$Y_{tg} = tg(x)$		$Y_{th} = th(x)$		$\sin(x)$		$tg(x)$		$th(x)$	
	x_{1a}	x_{2a}	x_a	Y_{1s}	Y_{2s}	Y_{1tg}	Y_{2tg}	Y_{1th}	Y_{2th}	Δ_{1s}	Δ_{2s}	Δ_{1tg}	Δ_{2tg}	Δ_{1th}	Δ_{2th}
1	.0011	0010	0.2	.0011	0010	.0010	0010	.0011	0010	0	0	1	0	0	0
2	.0011	0100	0.21	.0011	0100	.0011	0100	.0011	0110	0	0	0	0	0	2
3	.0011	1000	0.22	.0011	0110	.0011	0110	.0011	1000	0	14	0	6	0	0
4	.0011	1010	0.23	.0011	1010	.0011	1010	.0011	1010	0	0	0	2	0	0
5	.0011	1010	0.24	.0011	1110	.0011	1100	.0011	1110	0	4	0	6	0	4
6	.0100	0010	0.25	.0011	1100	.0011	1110	.0100	0000	7	14	7	14	0	0
7	.0100	0010	0.26	.0100	0000	.0100	0000	.0100	0100	0	2	0	2	0	6
8	.0100	0100	0.27	.0100	0100	.0100	0010	.0100	0110	0	0	0	6	0	2
9	.0100	0110	0.28	.0100	0110	.0100	0100	.0100	0100	0	0	0	2	0	2
10	.0100	1010	0.29	.0100	1000	.0100	0000	.0100	1100	0	2	0	10	0	6
11	.0100	1100	0.30	.0100	1010	.0100	1100	.0100	1100	0	6	0	0	0	0

Примітка:

1. Кортеж має чотири розряди, на які від коми розбиваються відповідні кодові послідовності, для візуалізації в табл. 1 вони розділяються між собою пробілом;
2. $\Delta_1; \Delta_2$ – константи до старшого і молодшого кортежів відповідно.

Візуалізація процедури визначення кількості N однакових значень корегуючих констант Δ_i для кортежного формування морфоструктури шифратора зображена на рис. 1 у вигляді моделі гістограми.

Аналіз гістограми показує, що достатньо семи корегуючих констант Δ_i для відтворення кодових послідовностей набору

функцій (1), які показані у формулі (2). При цьому значення констант (рис. 2) повторюються від одного до восьми раз, це зменшує час на проектування топології шифратора пам'яті.

Приклад багатофункціональної образно-знакової моделі для відтворення набору функцій зображений на рис. 2.

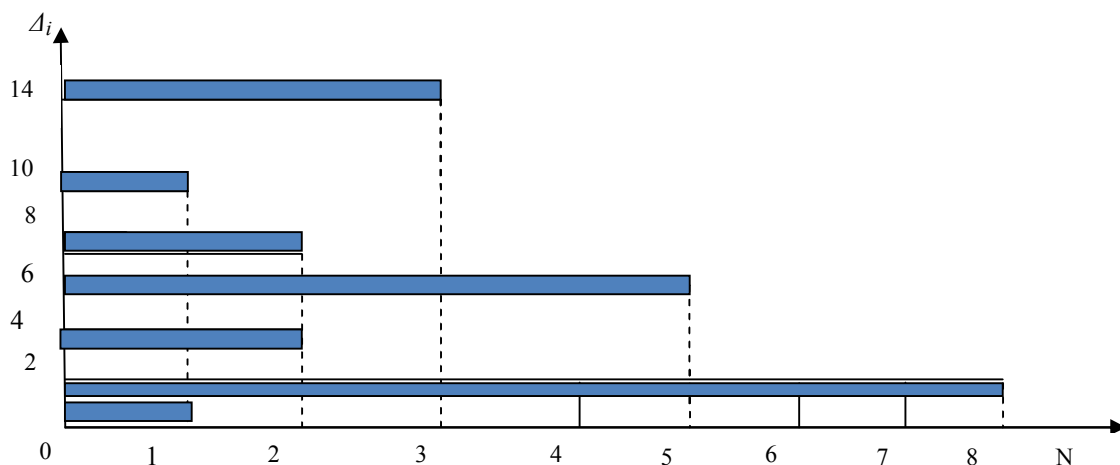


Рис. 1. Модель гістограми кількості N однакових значень Δ_i констант

Аналіз гістограми показує, що достатньо семи корегуючих констант Δ_i для відтворення кодових послідовностей набору функцій (1), які показані у формулі (2).

При цьому значення констант (рис. 2) повторюються від одного до восьми раз, це зменшує час на проектування топології шифратора пам'яті.

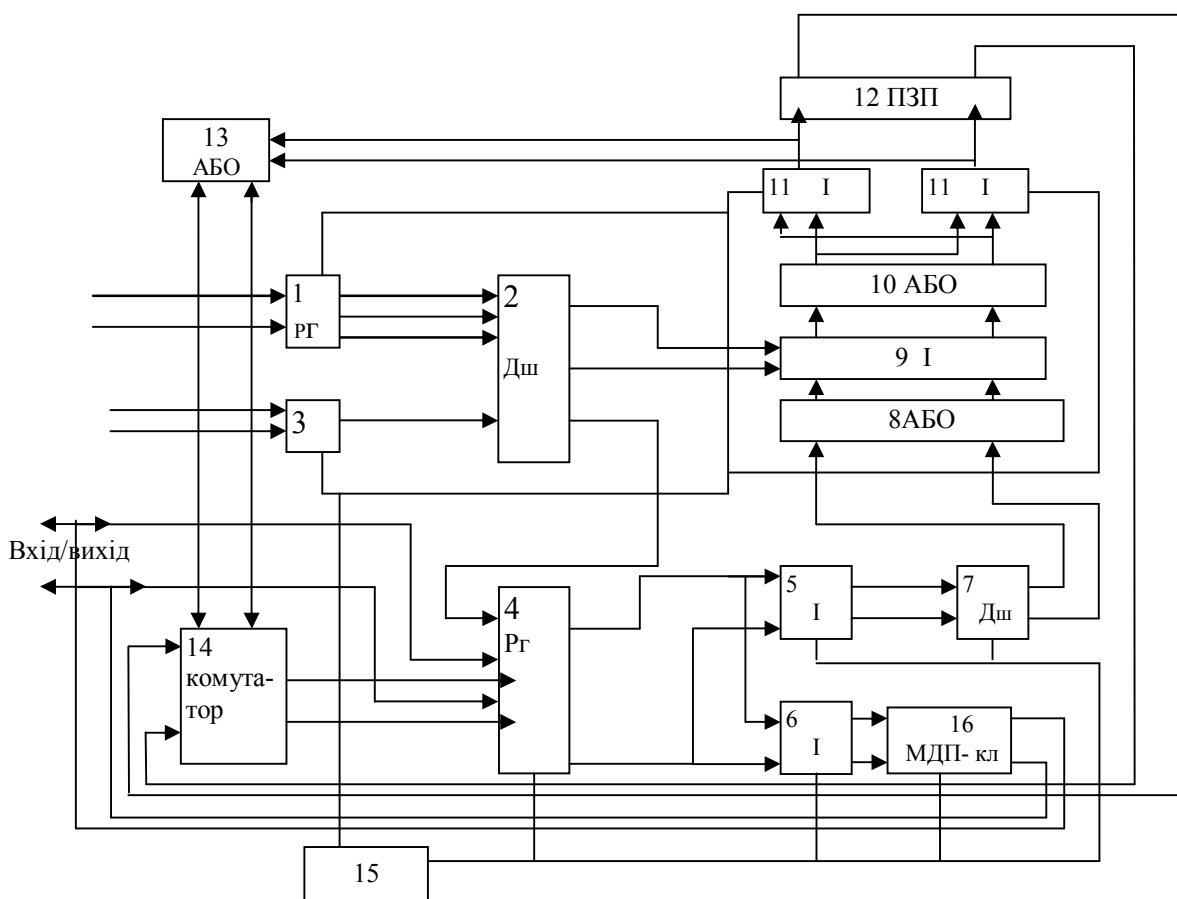


Рис. 2. Образно-знакова модель цифрового багатфункціонального обчислювача

Процедура відтворення здійснюється наступним чином. Код аргументу з виходу

регістра 4 через групу 5 елементів I надходить на вхід дешифратора адреси 7, розпі-

знається і через групу 8 елементів АБО надходить на входи групи 9 елементів І, на керуючі входи яких приходять імпульси з виходів дешифратора 2 функцій. На входи Дш 2 по імпульсу з блока синхронізації 15 подається код функції з виходу регістра 1. З виходу регістра 3 з'являється сигнал, що відповідає знаку в квадранті відтвореної функції, який записує цю інформацію в знакову комірку регістра 4. За надходженням сигналу з Дш 2 на відповідні входи групи 9 елементів І вихідна інформація про вибір на відповідних І елементів 11 проходить через групу 10 елементів АБО. Керуючий імпульс, що надходить з блока 15, комутує вихідні імпульси відповідного І 11, які надходять на входи блока пам'яті 12, і через групу 13 елементів АБО – на керуючі входи комутатора 14. При цьому на інформаційні входи останнього надходять сигнали з виходів блока пам'яті 12, в якому зберігаються константи для відповідних значень аргументу і функції. Вихідні сигнали комутатора 14 надходять на лічильні входи запису регістра 4. У регістрі 4 під дією «одиниць» тригери приймають другий стан і встановлюється код відповідної функції для вхідного аргументу.

З дозвольного імпульсу блока синхронізації, що надходить на другі входи групи І 6 та на затвори блока 16 МДП-ключів, відкриваються відповідні ключі й на виходах блока 16 з'являється код значення відтвореної функції.

Висновки. Науковою новизною в роботі є кортежний таблично-логічний метод апаратурної реалізації цифрових багатофункціональних обчислювачів.

Відмітною особливістю методу є кортежний засіб формування значень відповідних корегуючих констант до вхідної кодової послідовності спеціалізованого обчислювача за допомогою тотожності алгебри Жегалкіна.

Оригінальність схематичного рішення підтверджується патентами на винахід.

Верифікація переваг методу проводилася на основі порівняльного аналізу кількості активних елементів у числовому блоці пам'яті для відтворення функцій $\{Y_s = \sin(x); Y_{tg} = tg(x); Y_{th} = th(x)\}$ за класичним табличним методом апаратурної реалізації та запропонованим методом, яка підтвердила, що при побудові кортежним таблично-

логічним методом кількість активних елементів зменшена в 7,5 разу завдяки використанню тотожності алгебри Жегалкіна.

Результатом цього успіху є зменшення енергоспоживання, збільшення відсотка виходу придатних кристалів з пластини, збільшення часу напрацювання на відмову ($T_{від}$), тобто підвищується надійність числового блока пам'яті багатофункціональних обчислювачів. Важливим фактором підвищення надійності функціонування прецизійних цифрових багатофункціональних обчислювачів є зменшення впливу наведень та завад завдяки властивостям мікроелектронної технології (зменшення довжини провідників, легше будувати екранування та ін.).

В подальшому планується провести дослідження щодо створення універсальної морфоструктури шифратора для відтворення визначеного набору прецизійних функцій при формуванні кортежів та використовувати її як базову.

Список літератури

1. Лукашенко А. Г. Алгоритмы расчета корректирующих констант при таблично-алгоритмических методах апаратурной реализации функциональных зависимостей / А. Г. Лукашенко, Р. С. Юпин, Д. А. Лукашенко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНТУ, 2011. – С. 190–194.
2. Пат. 47009 Україна, МПК G06F 7/548 (2009.01) G06F 1/02. Пристрій для обчислення елементарних функцій / А. Г. Лукашенко; заявник та власник Черкаський державний технологічний університет. – № у 200908272; заявл. 05.08.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1.
3. Пат. 40177 Україна, МПК G06F7/544. Цифровий пристрій для обчислення функцій / [В. М. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко та ін.]; заявник та власник Черкаський державний технологічний університет. – № у 200813017; заявл. 10.11.2008; опубл. 25.03.2009; Бюл. № 6.
4. Лукашенко А. Г. Лазерна технологічна установка АРМА-100 / Лукашенко А. Г., Шелягин В. Д., Лукашенко В. М. // Каталог сучасних наукових розробок та послуг ЧДТУ. – Черкаси : ЧДТУ, 2009. – С. 23–24.
5. Лукашенко А. Г. Лазерна технологічна установка LKP77-400 / Лукашенко А. Г.,

- Шелягин В. Д., Лукашенко В. М. // Каталог сучасних наукових розробок та послуг ЧДТУ. – Черкаси : ЧДТУ, 2011.
6. Высоконадежные многофункциональные преобразователи кодовой информации / В. М. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, М. Г. Лукашенко, Я. В. Корпань // Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Технічні науки. – 2004. – С. 74–77.
 7. Методы совершенствования функционально ориентированных преобразователей / [Ю. Г. Лега, В. М. Лукашенко, Я. В. Корпань и др.] // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2003. – № 4. – С. 63–68.
 8. Корпань Я. В. Методика по визначенню числа кортежів для табличного логічно-оборотного методу реалізації кодоперетворювача // Образование и наука на 21 века : тезисы докл. междунар. науч.-практ. конф., (17-27 окт.). – София, 2009. – Т. 12. – С. 5–8.
- References**
1. Lukashenko, A. G., Yupun, R. E. and Lukashenko, D. A. (2011). Algorithms for correction constants calculating at table-algorithmic methods of hardware implementation of functional dependencies. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsionalnoho universytetu*. Khmel'nyts'kyi: KhNTU, pp. 190–194 [in Russian].
 2. Lukashenko, A. G. (2010). Pat. 47009 Ukraine, IPC G06F 7/548 (2009.01) G06F 1/02. A device for elementary functions computing; applicant and owner Cherkasy State Technological University. № u 200908272; appl. 05.08.2009; publ. 11.01.2010, bull. № 1 [in Ukrainian].
 3. Lukashenko, V. M., Lukashenko, A. G., Zubko, I. A. et al. (2009). Pat. 40177 Ukraine, IPC G06F7/544. Digital device for functions computing; applicant and owner Cherkasy State Technological University. – № u 200813017; appl. 10.11.2008; publ. 25.03.2009, bull. № 6 [in Ukrainian].
 4. Lukashenko, A. G., Shelyahyn, V. D. and Lukashenko, V. M. (2009). Laser technology installation ARMA-100. *Katalog suchasnyh naukovykh rozrobok ta poslug ChDTU*. Cherkasy: ChDTU, pp. 23–24 [in Ukrainian].
 5. Lukashenko, A. G., Shelyahyn, V. D. and Lukashenko, V. M. (2011). Laser technology installation LKP77-400. *Katalog suchasnyh naukovykh rozrobok ta poslug ChDTU*. Cherkasy: ChDTU [in Ukrainian].
 6. Lukashenko, V. M., Lukashenko, D. A., Lukashenko, M. G. and Korpan, Y. V. (2004). Highly reliable multifunctional transducers of code information. *Zbirnyk naukovykh prats' Shidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. V. Dahlya. Technichni nauky*, pp. 74–77 [in Russian].
 7. Lega, Yu. G., Lukashenko, V. M., Korpan, Y. V. et al. (2003). Methods of improving of functionally oriented transmitters. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, (4), pp. 63–68 [in Russian].
 8. Korpan, Ya. V. (2009) Methodology for determining the number of tuples for tabular logically reversible method of encoded converter. *Obrazovaniye i naukata na 21 veka: theses of reports of international scientific-practical conf.*, Sofia, pp. 5–8 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 24.07.2014.

A. G. Lukashenko, Ph.D., senior staff scientist
 Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine
 Bozhenko str., 11, Kiev-150, 03680, Ukraine

A TUPLE TABLE-LOGICAL METHOD OF IMPLEMENTATION OF DIGITAL MULTIFUNCTIONAL EVALUATOR

The method includes: the creation of corresponding input and output code tables for the set task; the determination of high-speed method of hardware implementation for functions producing; the formation of low-discharge tuples of input and output codes; comparative analysis of relevant tuples using Zhegalkin algebra; the determination of corrective constants values for the formation of output code information of encoder, the building of the model of digital multifunctional evaluator.

Keywords: *mathematical model, morphology, codes, method, function..*