

УДК 381.620

В.А. ЛУКАШЕНКО, А.Г. ЛУКАШЕНКО  
Інститут електрозварювання ім. Е.О. Патона, м. Київ, Україна  
В.М. СПІВАК  
Національний технічний університет України «КПІ»

## СИСТЕМАТИЗАЦІЯ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ СОПРОЦЕСОРІВ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ, ПРЕЦИЗІЙНИХ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ

*В роботі запропонована систематизація апаратно-орієнтованих методів і технічних принципів побудови моделей компонентів мікропроцесорних систем для проблемно-орієнтованої апаратури. Характерною особливістю цих моделей є можливість забезпечення вимог виконання операцій одночасно з високою швидкістю, прецизійністю, високою надійністю та низькою вартістю обчислювачів, функціональних перетворювачів та перетворювачів кодів, завдяки побудові їх на основі сукупності прийомів, ознак та засобів таблично-алгоритмічних методів апаратної реалізації. Оригінальність моделей підтверджена патентами на винахід та науковими публікаціями.*

*Ключові слова:* перетворювач, сопроцесори, табличний метод, алгоритмічний метод, апаратурна реалізація.

V.A. LUKASHENKO, A.G. LUKASHENKO  
E.O. Paton Electric Welding Institute, Kyiv  
V.M. SPIVAK  
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

## SYSTEMATIZATION OF METHODS, MODELS OF COPROCESSORS FOR HIGH-SPEED, PRECISION MICROPROCESSOR PROBLEM - ORIENTED SYSTEMS

*Abstract - In this work are proposed systematization of hardware-oriented methods and technical principles of building models of components of microprocessor systems for problem-oriented equipment. Typical feature of these models are the opportunity to provide the requirements of operation implementation simultaneously with high speed, precision, high reliability and low cost of calculators, functional converters and converters of functional codes, due to their construction, based on the summation of methods, features and means of table-algorithmic methods of hardware implementation. The originality of the model is confirmed by patent for invention and scientific publications.*

*System analysis of the known methods and hardware implementation elementary basic functions, compared with the basic table-algorithmic methods of realization the operations of reproducing functional dependencies, shows preference table-algorithmic method compared to the classical tabular method - by reducing the amount of memory.*

*Keywords:* converter, coprocessor, tabular method, algorithmic method, hardware implementation

### Вступ. Актуальність теми

Постійно зростаюча складність задач, які розв'язуються проблемно-орієнтованими системами керування, тісно пов'язана з проблемою підвищення ефективності роботи сучасних засобів обчислювальної техніки (ЗОТ).

Досягнення максимальної ефективності техніки при рішенні даної задачі, за словами академіка В.М. Глушкова, у значній степені визначається оптимальним співвідношенням програмних та апаратурних засобів системи математичного забезпечення. Удосконалювання технології виробництва мікроелектроніки привело до різкої диспропорції між вартістю програмних (software) і апаратурних (hardware) засобів системи математичного забезпечення (МЗ). Процес перекладання частини функцій МЗ з програмних засобів на апаратурні розвив тенденцію побудови багатопроекторних систем.

Функціонально орієнтовані сопроцесори відносяться до основних засобів нелінійної обробки аналогової, цифрової інформації, і виступають у ролі периферійних процесорів.

Побудові високопродуктивних функціонально-орієнтованих сопроцесорів присвячений ряд робіт А.Д. Азарова, В.Д. Байкова, А.Н. Лебедева, А.М. Оранського, Д.Е. Пузанкова, К.Г. Самофалова, Ю.А. Скрипника, В.Б. Смолова, В.П. Тарасенка та ін. Проте в даний час цей компонент при експлуатації у розширеному діапазоні температур не має необхідних техніко-економічних характеристик водночас: прецизійності, високих інформаційно-енергетичних і масогабаритних показників, надійності та низької вартості. Організація мікро-, наноструктур функціонально-орієнтованих формувачів з великим числом кубітів порушує питання про живучість таких структур через сильні електричні поля, високу щільність струму й інших факторів, що сприяють їхній деградації через складність мінімізації поверхневих станів, що приводить до низького відсотка виходу придатних кристалів із пластини і високої вартості пристроїв. Проектування багатокритеріальних виробів електроніки на єдиному методологічному й інформаційному базисі є першочерговою задачею.

### Постановка задачі

Метою роботи є класифікація методів, технічних принципів побудови моделей, які сприяють отриманню інформації, що забезпечує прискорення процедури проектування завдяки системного аналізу моделей компонентів мікропроцесорних систем для проблемно-орієнтованої апаратури.

### Результати досліджень

Результатами дослідження є моделі сопроцесорів, що виконують функції обчислювачів, функціональних перетворювачів та перетворювачів кодів. Вони мають можливість забезпечити вимоги виконання операцій одночасно з високою швидкістю, прецизійністю, високою надійністю та низькою вартістю завдяки побудові їх на єдиному кристалі таблично-алгоритмічними методами [1, 18]. Ці методи основані на сукупності прийомів, ознак та засобів їх реалізації.

Основою таблично-алгоритмічних моделей є таблиця, яка використовується для перетворення вхідної незалежної кодової послідовності у вихідний код за допомогою відповідного типу операції. До таких операцій відносяться арифметичні (додавання / віднімання, множення/ділення, зведення до квадрату, добування кореня), логічні, що основані на функціях алгебри логіки, функціях алгебри Жегалкіна [2, 4–9]. Характеристики цих операцій впливають на швидкість моделей сопроцесорів. Наприклад, швидкість виконання арифметичних операцій залежать від кількості  $n$  розрядності операндів (множення пропорційне  $\approx n^2$ ; арифметичне додавання  $\approx n$ ), але логічна операція XOR (додавання за mod2) не залежить від  $n$ . Ця операція має важливу властивість – наявність оберненого елемента, що дозволяє розв'язувати рівняння шляхом додавання до обох частин однакових елементів.

Операція XOR широко використовується при кодових перетвореннях (коди Грея в двійковий та навпаки, двійковий код в однополярний код Баркера, системи впорядкування по Уолшу), при відтворенні функціональних залежностей (елементарних базових функцій, трансцендентних чисел, складних функцій) [10–13].

Крім того, таблиці формуються різноманітними методами стиску: за рахунок кусково-лінійної апроксимації, методом трансформації аргументу, методом кортежу [14–17]. Модель таблично-логічного перетворювача кодів (ТЛПК) з кортежним методом апаратурної реалізації представлена на рис. 1. ТЛПК має розширені функціональні можливості, а саме:

- робота в режимі перетворювача коду Грея в двійковий код;
- робота в режимі перетворювача двійкового коду к код Грея;
- робота в режимі перетворювача однополярного коду Баркера в двійковий код.

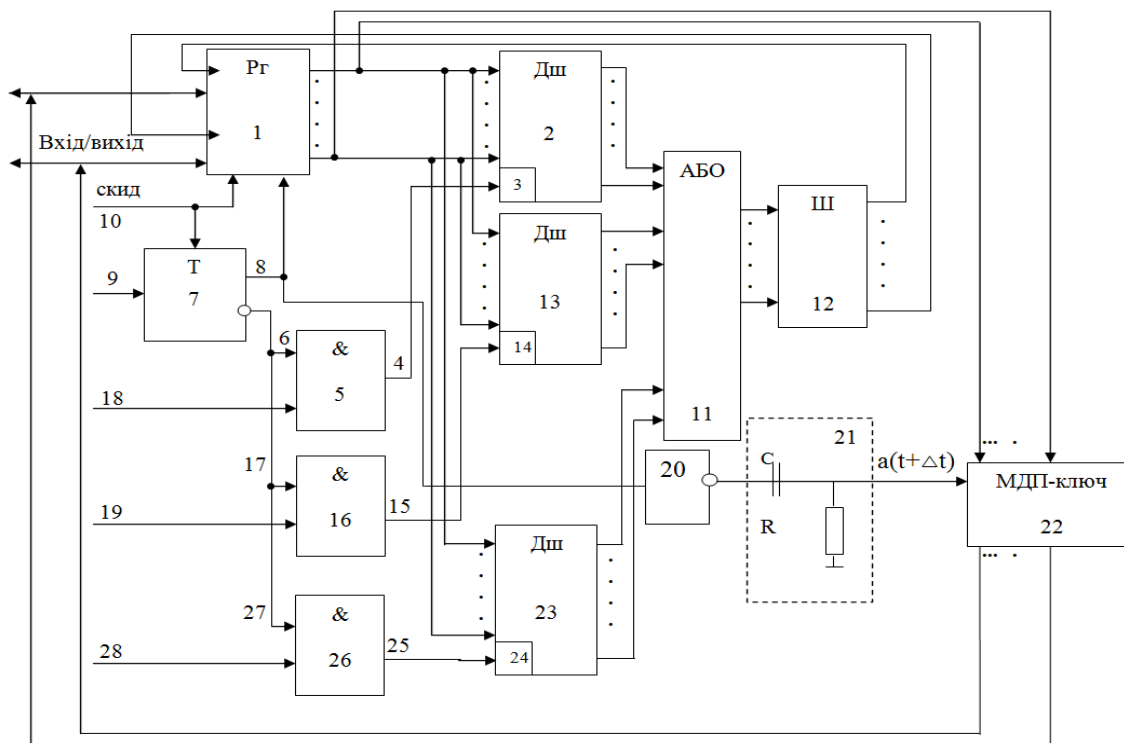


Рис. 1. Модель таблично-логічного перетворювача кодів

Позитивність методу кортежу полягає у високій швидкості відтворення значення функції завдяки, порозрядному паралельному перетворенню операндів, а негативність – у відсутності динаміки росту ефекту стиску обсягу таблиць, значення якого в загальному випадку можна прийняти рівним 2, тому що за високих інформаційних технологій  $n \gg 8$  імовірність появи одиниць і нулів дорівнює 0,5.

З огляду на те, що образною моделлю для порівняння обрана модель класичного табличного методу перетворення, як самого швидкодіючого, у якій визначальним параметром апаратурної реалізації є обсяг пам'яті запам'ятовуючого пристрою ПЗУ, що обчислюється за формулою

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

де  $n$  – розрядність оброблюваних операндів, то вдосконалення цієї моделі приводить до моделей, у яких скорочення обсягу ПЗУ здійснюється за рахунок незначного зниження швидкодії.

Заслугує увагу дослідження динаміки росту ефекту стиску обсягу таблиць при методі трансформації коду аргументу по цілих ступенях двійкової системи числення для високих інформаційних технологій відтворення функціональних залежностей [3].

Нехай області завдання функцій і області значень відповідних елементарних функцій адекватні при їхній апаратній реалізації класичним табличним методом і методом трансформації коду аргументу, тоді ефект стиску обсягу таблиць від збільшення точності відтворення функції можна оцінити як відношення обсягів постійних запам'ятовуючих пристроїв (ПЗП) і представити формулою

$$K_c = V_{\text{кл}} / V_{\text{тр}},$$

де  $K_c$  – коефіцієнт ефекту стиску обсягу таблиць;

$V_{\text{кл}}$  – обсяг таблиць для класичного табличного методу апаратної реалізації;

$V_{\text{тр}}$  – обсяг таблиць для методу трансформації коду аргументу.

Результати, проведених аналітичних досліджень для базового набору відтворення елементарних функцій  $e^X$ ,  $\sin X$ ,  $\text{tg} X$ ,  $\text{arctg} X$ ,  $\ln X$ , представлені на рис. 2, де зображені залежності коефіцієнтів  $K_c$  від зміни похибки  $\delta$  обчислень значень відповідних функцій.

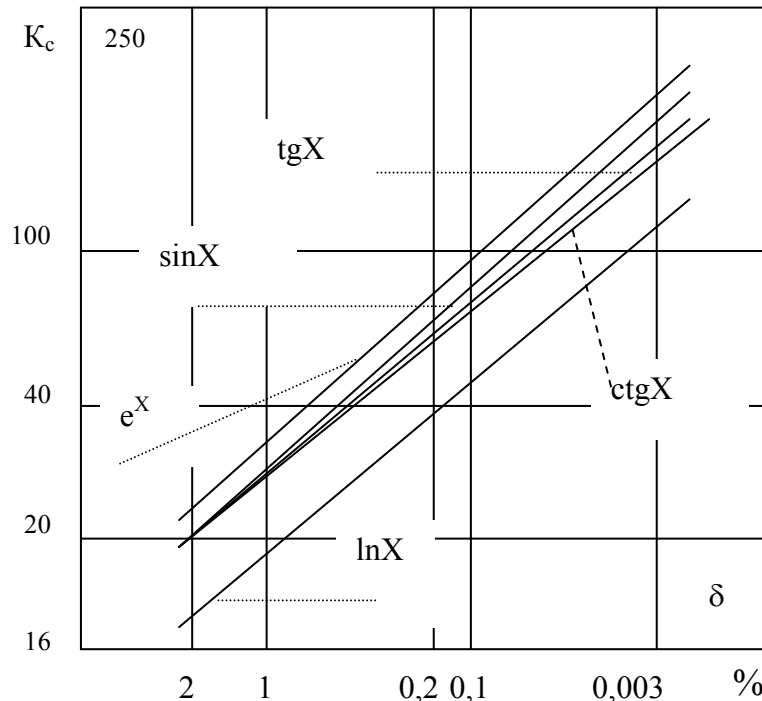


Рис. 2. Залежність  $K_c$ -ефекта стиснення таблиць від похибки  $\delta$  обчислення елементарних функцій

Аналіз графічного зображення показує високу швидкість росту  $K_c$  ефективності скорочення обсягу таблиць при прецизійних інформаційних технологіях перетворення базового набору відтворення значень функцій, за рахунок трансформації масиву кодової послідовності вхідної незалежної змінної по цілих ступенях двійки. При вивченні найбільш поширених апаратно-орієнтованих прецизійних методів і технічних принципів побудови, засобів реалізації високошвидкісних операційних обчислювачів та перетворювачів кодів, як правило, систематизують істотні ознаки, які покладені в основу їх класифікації.

Для створення такої класифікації є доцільним покласти запропонований системний аналіз наступних існуючих апаратно-орієнтованих прецизійних методів, технічних принципів побудови і моделей функціональних залежностей високошвидкісних операційних обчислювачів та перетворювачів, а саме: табличний класичний метод; таблично-алгоритмічний метод; метод скорочення апаратних затрат, оснований на властивості функціонально-орієнтованих залежностей; метод скорочення об'єму табличних даних за рахунок розбиття діапазону аргументу на підінтервали різної довжини; таблично-адитивний метод реалізації відтворення функціонально орієнтованих залежностей; таблично-логічний метод реалізації функціонально орієнтованих сопроцесорів; моделі кусково-лінійної апроксимації; моделі кусково-ступінчастої апроксимації з рівномірним квантуванням функціональної залежності; багатфункціональне перетворювання функціональних залежностей та перетворювання кодів. Одна з розроблених класифікаційних схем для таблично-алгоритмічних функціонально орієнтованих формувачів та перетворювачів кодів представлена на рис. 3.

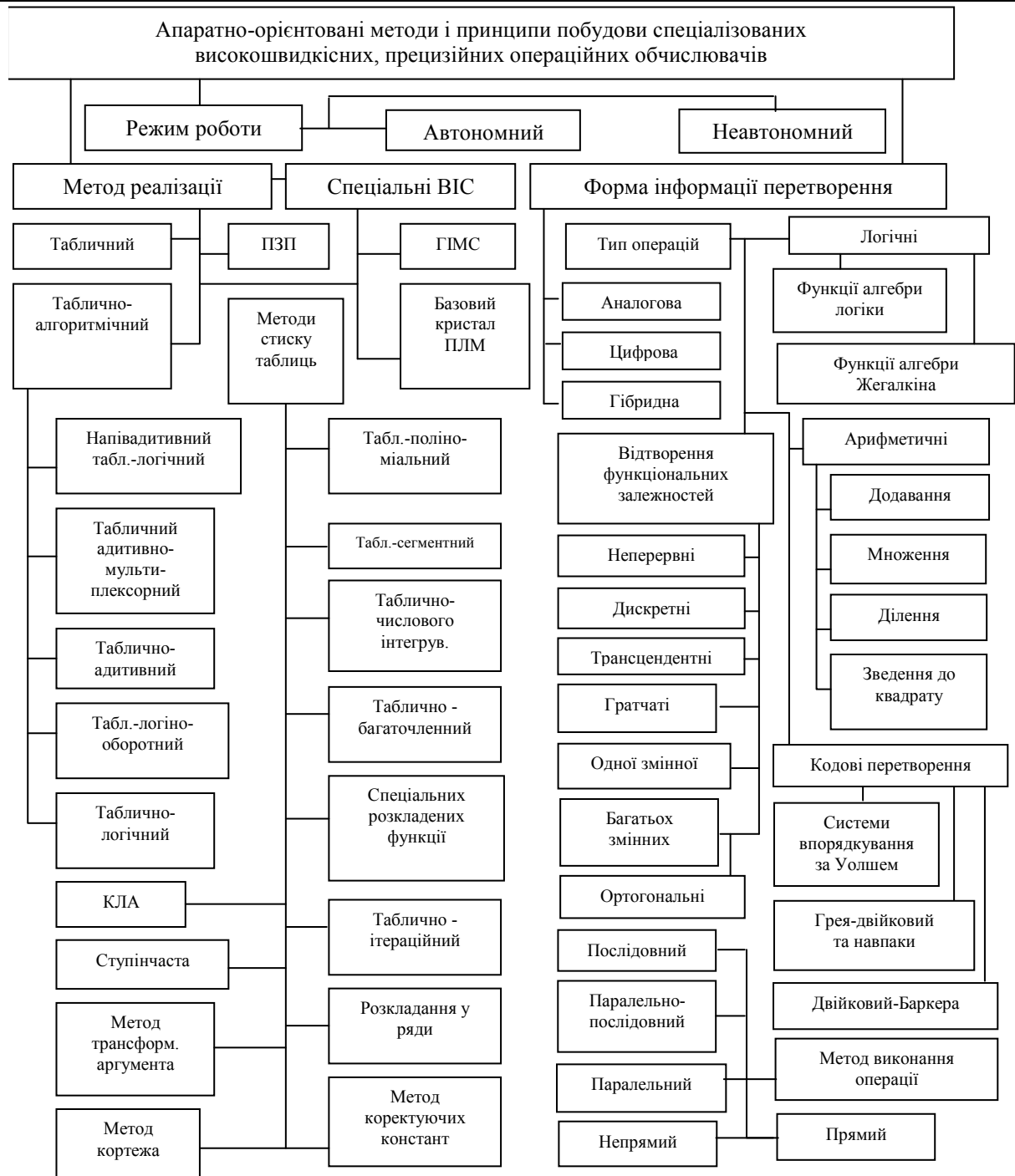


Рис. 3. Класифікаційна схема методів і технічних принципів побудови функціонально-орієнтованих сопроцесорів

Модель класифікації є основою для вивчення та удосконалення властивостей таблично-алгоритмічних методів і принципів рішення задач обчислювального характеру функціонально орієнтованими процесорами та розробки відповідної моделі і проведення порівняльного аналізу.

Таким чином, проведена систематизація, аналіз можливостей апаратної реалізації таблично-алгоритмічних функціонально-орієнтованих процесорів і теоретичні дослідження параметрів та їх властивостей, дозволили встановити, що реалізація прецизійних інформаційних технологій таблично-алгоритмічними методами є ефективною і перспективною. Оригінальність моделей підтверджується патентами на винахід [2–17].

### Висновки

Запропонована класифікаційна схема, що включає характеристики сучасних формувачів інформації, отриманих на базі системного аналізу відомих методів і технічних засобів реалізації елементарних базових функцій з використанням найбільш поширених апаратно-орієнтованих прецизійних методів, принципів побудови і моделі високошвидкісних операційних обчислювачів.

Також системний аналіз відомих методів і технічних засобів реалізації елементарних базових

функцій в порівнянні з основними таблично-алгоритмічними методами виконання операцій відтворення функціональних залежностей, які займають в процесі розв'язання конкретних задач спеціалізованих обчислювачів 40–60%, показує перевагу таблично-алгоритмічного методу в порівнянні з класичним табличним у скороченні об'єму пам'яті.

В подальшому досліджені доцільно звернути увагу на формування багатофункціональних сопроцесорів при апаратурній реалізації на єдиному кристалі за допомогою напівадитивного таблично-логічного методу

### Література

1. Лукашенко В.М. О перспективности таблично-алгоритмических методов при реализации высоких информационных технологий / В.М. Лукашенко // Вісник ЧІТІ. – 2000. – № 4. – С. 18 – 22.
2. Пат. 35014 А Україна, МПК G06G07/26. Цифровий пристрій для обчислення функцій / В.М. Лукашенко, С.В. Ротте, М.І. Гладченко, А.Г. Лукашенко. – № 99074386 ; заявл. 29.07.1999 ; опубл. 15.03.2001 ; Бюл. № 2. – 3 с.
3. Пат. 40177 Україна, МПК G06F7/544. Цифровий пристрій для обчислення функцій / Лукашенко В.М., Кулігін О.А., Лукашенко А.Г., Рудаков К.С., Лукашенко В.А., Зубко І.А. ; заявник Черкаський державний технологічний університет. – № u200813017 ; заявл. 10.11.2008 ; опубл. 25.03.2009 ; Бюл. № 6.
4. Пат. 40745 Україна, МПК G06G7/00. Цифровий пристрій для обчислення функцій / Лукашенко В.М., Дахно С.В., Лукашенко А.Г., Рудаков К.С., Лукашенко В.А. ; заявник Черкаський державний технологічний університет. – № u200813059 ; заявл. 10.11.2008 ; опубл. 27.04.2009 ; Бюл. № 8. – 4 с.
5. Пат. 47009 Україна, МПК G06F 7/548(2009.01) G06F 1/02. Пристрій для обчислення елементарних функцій / Лукашенко А.Г. ; заявник Черкаський державний технологічний університет. – № u 200908272 ; заявл. 05.08.2009 ; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1. – 5с.
6. Пат. 47901 Україна, МПК G06F 7/52. Пристрій для множення N-розрядних чисел / Лукашенко А.Г. ; заявник Черкаський державний технологічний університет. – № u 200909902 ; заявл. 28.09.2009 ; опубл. 25.02.2010, Бюл. 4.
7. Пат. 53450 Україна, МПК G06G 7/00 G06G 7/00. Цифровий пристрій для обчислення прямих та обернених функцій / Лукашенко А.Г., Лукашенко Д.А., Лукашенко В.А., Лукашенко В.М. ; заявник Черкаський державний технологічний університет. – № u 201003337 ; заявл. 22.03.2010 ; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
8. Пат. 10485 Україна, МПК G06G07/26; G06J3/00. Гібридний обчислювальний пристрій / В.М. Лукашенко (UA), Ю.Г. Лега (UA), А.Г. Лукашенко (UA), М.Г. Лукашенко (UA), Я.В. Корпань (UA), С.К. Романовський (UA), М.А. Караван (UA), Д.А. Лукашенко (UA) ; ЧДТУ – № u200504233 ; заявл. 04.05.2005 ; опубл. 15.11.2005 ; Бюл. № 11.
9. Пат. 33624 Україна, МПК G06G07/00; G06J3/00. Гібридний обчислювальний пристрій / В.М. Лукашенко (UA), А.Г. Лукашенко (UA), Я.В. Корпань (UA), М.А. Караван (UA), Д.А. Лукашенко (UA), К.С. Рудаков (UA), В.А. Лукашенко (UA) ; ЧДТУ – № a200711691 ; заявл. 22.10.2007 ; опубл. 10.07.2008 ; Бюл. № 13.
10. Пат. 5476, Україна, МПК G06F5/00. Перетворювач двійкових кодів в двійково-десятковий код / В.М. Лукашенко (UA), Ю.П. Кунченко (UA), Я.В. Корпань (UA), М.Г. Лукашенко (UA), Д.А. Лукашенко (UA) ; ЧДТУ – № 20040604861 ; заявл. 21.06.2004 ; опубл. 15.03.2005 ; Бюл. № 3.
11. Пат. 40178, Україна, МПК G 06 F 5/00. Перетворювач коду Грея в двійковий код і навпаки / Лукашенко В.М., Лукашенко А.Г., Рудаков К.С., Лукашенко В.А., Юпин Р.Є. ; заявник Черкаський державний технологічний університет. – №u200813020; заявл. 10.11.08; опубл. 25.03.09, Бюл. №6.– 4с.
12. Пат. 44833 Україна, МПК G 06 F 5/02. Перетворювач двійкового коду в однополярні оборотні коди / Лукашенко В.М., Корпань Я.В., Лукашенко А.Г., Рудаков К.С., Лукашенко Д.А., Юпин Р.Є., Чичужко М.В. ; заявник Черкаський державний технологічний університет. – № u200906159 ; заявл. 15.06.2009 ; опубл. 12.10.2009, Бюл. 19. – 5 с.
13. Пат. 72952 Україна, МПК (2012.01) G 06 F 5/00. Перетворювач двійкового коду в однополярні оборотні коди / А.Г. Лукашенко, В.М. Лукашенко, К.С. Рудаков, Д.А. Лукашенко, О.С. Вербицький, С.А. Міценко, В.А. Лукашенко ; заявник та власник Черкаський державний технологічний університет – № u2011 13847 ; заявл. 24.11.2011 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17. – 5 с.
14. Пат. 89784 U Україна, МПК (2014.01) G 06F 5/00. Таблично-логічний перетворювач кодів / В.М. Лукашенко, І.А. Зубко, А.Г. Лукашенко, В.А. Лукашенко, М.В. Чичужко, Д.А. Лукашенко ; заявник та власник В.М. Лукашенко. – № u 2013 15042 ; заявл. 23.12.2013 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8.
15. Пат. 77797 Україна, МПК G 06G 7/26 (2006.01). Кусково-лінійний апроксиматор / А.Г. Лукашенко, Д.А. Лукашенко, І.А. Зубко, В.А. Лукашенко, В.М. Лукашенко, Т.Ю. Уткіна ; заявник та власник Черкас. держ. технол. ун-т. – № u 201210335 ; заявл. 31.08.2012 ; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. – 6 с.
16. Пат. 80851 Україна, МПК G 06G 7/26 (2006.01). Формувач складних кусково-лінійних функцій / А.Г. Лукашенко, Д.А. Лукашенко, І.А. Зубко, В.А. Лукашенко, В.М. Лукашенко ; заявник та власник

Черкаський державний технологічний університет. – № у 2012 15113 ; заявл. 28.12.2012 ; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 11.

17. Пат. 88085 Україна, МПК (2006.01) G 06G 7/26. Формувач складних кусково-лінійних функцій / А.Г. Лукашенко, Д.А. Лукашенко, І.А. Зубко, В.А. Лукашенко, В.М. Лукашенко ; заявник та власник В.М. Лукашенко. – № у 2013 12598 ; заявл. 28.10.2013 ; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4. – 4 с.

18. Лукашенко В.М. Метод розширення функціональних можливостей сучасних мікроконтролерів / В.М. Лукашенко, М.В. Чичужко, Д.А. Лукашенко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки – Хмельницький : ХНУ, 2013. – № 6. – С. 186–189.

#### References

1. Lukashenko V. M. O perspektivnosti tablychno-alhorytmicheskyykh metodov pry realizatsyy vysokyykh ynformatsyonnykh tekhnolohiyi / V. M. Lukashenko // Visnyk ChITI. – 2000. №4. С. 18 – 22.
2. Digital device for calculating the functions:Pat. Ukraine 35014,MPKG06G07/26./ V.M. Lukashenko,C. V. Rotte, A.H. Lukashenko, M.I. Gladchenko, A.G. Lukashenko; applicant - Cherkassy state technological university. - №99074386; stat. 29.07.1999; publ.15.03.2001;Bull. №2. – p.3.
3. Digital device for calculating the functions: Pat. Ukraine 40177, MPK G06F7/544/ V.M. Lukashenko, O.A. Kulygin, A.G. Lukashenko, K.S. Rudakov, V.A. Lukashenko, I.A. Zubko; applicant - Cherkassy state technological university. - №u200813017; stat. 10.11.2008; publ. 25.03.2009; Bull.. №6. – p.4.
4. Digital device for calculating the functions:Pat. Ukraine 40745, MPK G06G7/00/ V.M. Lukashenko, A.G. Lukashenko, K.S. Rudakov, V.A. Lukashenko, S.M. Dahno; applicant - Cherkassy state technological university. - №u200813059;stat.10.11.2008;publ. 27.04.2009; Bull. №8.p.4.
5. Digital device for calculating the elementary functions: Pat. Ukraine 47009, MPK G06F 7/548(2009.01) G06F 1/02/ A.G. Lukashenko; applicant - Cherkassy state technological university. - №u200908272; stat. 05.08.2009; publ. 11.01.2010; Bull. №1.–p.5.
6. Device formultiplication of N-bitnumbers: Pat. Ukraine 47901, MPK G06F 7/52/ A.G. Lukashenko; applicant - Cherkassy state technological university. - №u200909902; stat. 28.09.2009; publ. 25.02.2010; Bull. №4.
7. Digital device for calculatingthe direct and inverse functions: Pat. Ukraine 53450, MPKG06G 7/00 G06G 7/00 / Lukashenko A.G., Lukashenko D.A., Lukashenko V.A., Lukashenko V.M.; applicant - Cherkassy state technological university. - №u201003337; stat. 22.03.2010; publ. 11.10.2010; Bull.. №19.
8. Hybrid computing device: Pat. Ukraine 10485, G06G07/26; G06J3/00/ V.M. Lukashenko, U.G. Lega, A.G. Lukashenko, M.G. Lukashenko, Y.V. Korpan, S.K. Romanovsky, M.A. Karavan, D.A. Lukashenko; applicant – Cherkassy state technological university. - №u200504233; stat. 04.05.2005; publ. 15.11.2005; Bull. №11.
9. Hybrid computing device: Pat. Ukraine33624, MPKG06G07/00; G06J3/00/ V.M. Lukashenko, A.G. Lukashenko, Y.V. Korpan, M.A. Karavan, D.A. Lukashenko, K.S. Rudakov, V.A. Lukashenko.; applicant- Cherkassy state technological university. - №a200711691; stat. 22.10.2007; publ. 10.07.2008; Bull. №13.
10. Converter from binary code to binary-coded decimal: Pat. Ukraine 5476, MPK G06F5/00/ V.M. Lukashenko,Y.P. Kunchenko, Y.V. Korpan, M.G. Lukashenko, D.A. Lukashenko; applicant - Cherkassy state technological university. - №20040604861; stat. 21.06.2004; publ. 15.03.2005; Bull. №3.
11. Transformer Gray code to binary code and vice versa: Pat. Ukraine 40178, MPK G 06 F 5/00. / V.M. Lukashenko, A.G. Lukashenko, V.A. Lukashenko, K.S. Rudakov and other.; applicant - Cherkassy state technological universit - №u200813020; stat. 10.11.08; publ. 25.03.09, Bull.. №6. – p.4.
12. Converter from binary code to the unipolar ones' complement code: Pat. Ukraine 44833, MPK G 06 F 5/02 / Lukashenko V.M., Korpan Y.V., Lukashenko A.G., Rudakov K.S., Lukashenko D.A., Yupyn R.Ye, Chychuzhko M.V.; applicant - Cherkassy state technological university. - №u200906159; stat. 15.06.2009; publ. 12.10.2009; Bull. №19. –p.5.
13. Converter from binary code to the unipolar ones' complement code: Pat. Ukraine 72952, MPK (2012.01)G 06 F 5/00 / A.G. Lukashenko, V.M. Lukashenko, K.S. Rudakov, D.A. Lukashenko, O.S. Verbitsky, S.A. Mitsenko, V.A. Lukashenko; applicant and owner - Cherkassy state technological university. - № u201113847; stat. 24.11.2011; publ. 10.09.2012; Bull. №17.- p.5.
14. Table-logicalconvertercodes: Pat. 89784 Ukraine, MPK (2014.01) G 06F 5/00. / V.M. Lukashenko, I.A. Zubko, A.G. Lukashenko, V.A. Lukashenko, M.V. Chichuzhko, D.A. Lukashenko; applicant and owner - V.M. Lukashenko. - № u 2013 15042; stat. 23.12.2013; publ. 25.04.2014, Bull. № 8. – p.5.
15. Piecewise linear approximator: Pat. Ukraine 77797, MPK G 06G 7/26 (2006.01) / A.G. Lukashenko, D.A. Lukashenko, I.A. Zubko, V.A. Lukashenko, V.M. Lukashenko, T.U. Utkina; applicant and owner - Cherkassy state technological university. - №u 201210335; stat. 31.08.2012; publ. 25.02.2013; Bull. №4. –p.6.
16. Generator of complex piecewise linear functions: Pat. Ukraine 80851, MPK G 06G 7/26 (2006.01) / A.G. Lukashenko, D.A. Lukashenko, I.A. Zubko, V.A. Lukashenko, V.M. Lukashenko; applicant and owner - Cherkassy state technological university. - №u 2012 15113; stat. 28.12.2012; publ. 10.06.2013; Bull. №11.
17. Generator of complex piecewise linear functions: Pat. Ukraine 88085, MPK (2006.01)G 06G 7/26 / A.G. Lukashenko, D.A. Lukashenko, I.A. Zubko, V.A. Lukashenko, V.M. Lukashenko; applicant and owner - V.M. Lukashenko. - №u 2013 12598; stat. 28.10.2013; publ. 25.02.2014; Bull. №4.-p. 4.
18. Lukashenko V.M. Metod rozshyrennia funktsionalnykh mozhlyvostey suchasnykh mikrokontroleriv / V.M. Lukashenko, M.V. Chichuzhko, D.A. Lukashenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical science. Khmelnytsky. 2013. Issue 6. – pp. 186–189.

Рецензія/Peer review : 19.1.2015 р.

Надрукована/Printed :26.1.2015 р.  
Рецензент: д.т.н., проф., Кришталь М.А.