

УДК 681.325.53

**УДОСКОНАЛЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ГІБРИДНОГО  
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО СПІВПРОЦЕСОРА**

**В. М. Лукашенко**, *д-р техн. наук, професор;*

**Т. Ю. Уткіна**, *канд. техн. наук;*

**А. Г. Лукашенко**, *канд. техн. наук;*

**С. А. Міценко**, *асистент;*

**О. С. Вербицький**, *аспірант,*

*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси*

*Проведено системний аналіз методів добування квадратного кореня. Запропонована апаратна реалізація функції корінь квадратний, відмінними особливостями якої є зменшення апаратних затрат, забезпечення високої надійності, високої швидкодії, адекватної класичному табличному методу, та високого відсотка придатних кристалів з пластини, що сприяє зменшенню вартості пристрою.*

**Ключові слова:** *функція, квадратний корінь, система числення, таблично-адитивний метод, апаратна реалізація.*

*Проведен системный анализ методов извлечения квадратного корня. Предложена аппаратная реализация функции корень квадратный, отличительными особенностями которой являются уменьшение аппаратных затрат, обеспечение высокой надежности, высокого быстродействия, адекватного классическому табличному методу, и высокого процента пригодных кристаллов из пластины, способствующей уменьшению стоимости устройства.*

**Ключевые слова:** *функция, квадратный корень, система счисления, таблично-аддитивный метод, аппаратная реализация.*

**ВСТУП**

У наш час для виконання складних задач обробки даних з метою зменшення навантаження на універсальні процесори та підвищення продуктивності комп'ютерних систем все частіше використовуються спеціалізовані співпроцесори. Застосування співпроцесорів відкриває перспективи надання принципово нових властивостей та досягнення високих технічних характеристик комп'ютерних систем, до складу яких входять спеціалізовані співпроцесори.

Розроблення теоретичних наукових основ проектування мікропроцесорних систем для багатокоординатних лазерних комплексів на єдиному методологічному та інформаційному базисі включає спеціалізовані співпроцесори, головним завданням яких є обчислення функції на заданому інтервалі аргументу для визначення траєкторії переміщення лазерного інструменту, в тому числі, і функції типу  $f(x) = \sqrt{x}$ , що являє собою першочергову задачу [1, 2].

Операція добування квадратного кореня, як самостійна операція в системі команд ЕОМ включається у випадку, коли виникає потреба відносно частого її використання. Такі ситуації, як правило,

зустрічаються при створенні спеціалізованих проблемно-орієнтованих моделей та їх компонентів.

Спеціалізовані співпроцесори виконують завдання вузького класу. Вони прості в реалізації і при збереженні високої точності, забезпечують високу надійність, високу швидкість та мале споживання потужності [3-4, 7-8].

Проектуванню високопродуктивних функціональних перетворювачів присвячено ряд робіт В. Д. Байкова, А. М. Оранського, В. Б. Смолова, В. П. Тарасенка та ін.

Бурхливий розвиток сучасної мікро-, нанотехнології дозволяє забезпечити малі габарити та вагу при розширенні функціональних можливостей сучасних гібридних співпроцесорів. До того ж аналіз методів апаратурної реалізації перетворювачів функції корінь квадратний для багатозначних чисел показав, що вони недостатньо вивчені. Тому принципи побудови та методи апаратурної реалізації багатofункціональних гібридних співпроцесорів при їх великій затребуваності у промисловості та аеронавігації є задачею актуальною.

### ПОСТАВЛЕННЯ ЗАВДАННЯ

**Метою роботи** є розширення функціональних можливостей гібридного спеціалізованого співпроцесора [2] за рахунок введення до його складу (побудова на його кристалі) перетворювача функції корінь квадратний для багатозначних чисел.

Поставлена мета досягається шляхом:

- системного аналізу методів та моделей добування квадратного кореня;
- визначення методу апаратурної реалізації спеціалізованого перетворювача функції корінь квадратний;
- побудови образно-знакової моделі функціонального перетворювача для багатозначних чисел, що відтворює функцію корінь квадратний.

### РЕЗУЛЬТАТИ

#### **Системний аналіз методів та моделей добування квадратного кореня**

Для добування квадратного кореня існують такі методи:

- використання існуючих таблиць квадратів, але для багатозначних чисел, як правило, вони відсутні;
- обчислення квадратного кореня з багатозначних чисел можна проводити на ЕОМ заздалегідь, але процес розрахунку витрачає багато часу;
- розкладання чисел на прості множники і добування квадратного кореня з добутку, але цей метод трудомісткий та обмежений функціональними можливостями (неможливо використовувати його для простих чисел) [6];
- метод підбору, але він застосовується для цілих чисел.

Характерною особливістю всіх методів є використання відповідних таблиць.

Системний аналіз методів та моделей показав, що в умовах попередньої підготовки таблиці найкраще використовувати електронні таблиці MS Excel [8], яка наведена на рис. 1.

При цьому до моделі ставляться наступні вимоги:

1. Модель повинна добувати квадратний корінь з наперед заданою точністю.
2. У моделі дозволяється використовувати тільки такі арифметичні операції, які можуть бути реалізовані в логічній моделі.
3. Модель повинна давати тільки один результат.
4. Час виконання операції повинен бути скінченним і мати реально допустиме значення.

5. Циклічні операції повинні бути замінені послідовним їх виконанням із максимально прогнозованим числом повторень.

Модель повинна бути побудована за модульним принципом: вона повинна включати в себе набір незалежних модулів, які об'єднуються в єдине ціле. Це дає можливість оперативно вносити зміни в модель і простежити від початку до кінця проходження одиниці на будь-якому рівні, що дозволяє своєчасно виявляти похибки обчислення.

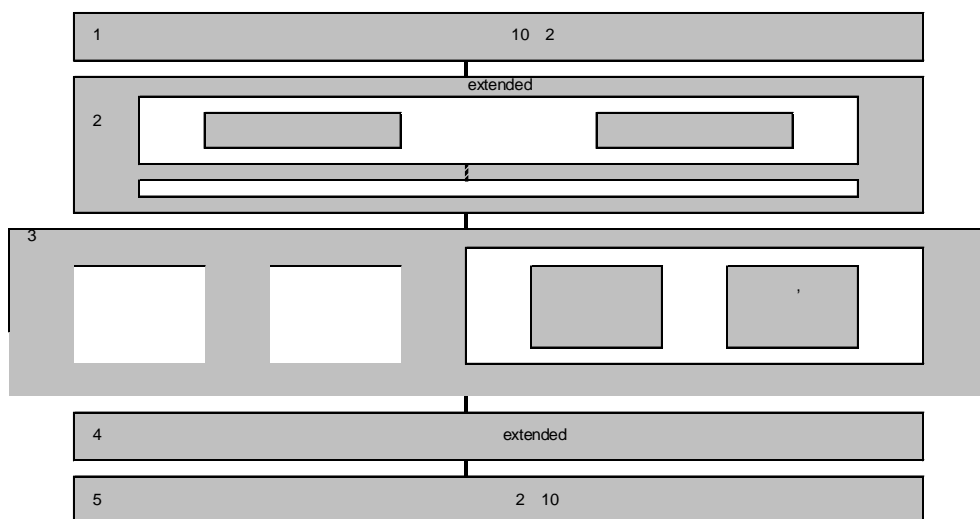


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою

Структурна схема формування таблиць для добування квадратного кореня працює за таким принципом:

1. Задано число в десятковій позиційній системі числення.
2. Переводиться число в двійкову позиційну систему числення. Формується таблиця аргументу  $x$ .
3. Знаходиться квадратний корінь  $y$  з числа в двійковій позиційній системі числення. Формується таблиця функції  $y$ .
4. Для контролю результат переводиться в десяткову позиційну систему числення, піднесення до степеня 2.
5. Результат порівнюється з відомим результатом на предмет допустимої похибки.

**Визначення методу апаратної реалізації спеціалізованого перетворювача функції корінь квадратний**

Таблично-адитивний метод базується на використанні різних видів кусково-лінійної апроксимації і, як правило, застосовується для апаратної реалізації функціональних перетворювачів.

При реалізації апаратно-орієнтованих спеціалізованих співпроцесорів на базі таблично-адитивного методу зменшується розмір таблиць, які зберігаються в постійному запам'ятовувальному пристрої (ПЗП). Скорочення розміру таблиць досягається за рахунок апроксимації відтвореної функції  $f(x)$  прямою, тангенс кута нахилу якої визначається як  $2^{\pm j}$ , при цьому апроксимуючу функцію можна подати у вигляді

$$f(x) = k_j \cdot x_j + a_j, \quad (1)$$

де  $k_j$  – тангенс кута нахилу для кожного  $j$ -го вузла;  
 $a_j$  – інтерполяційна різниця.

Значення констант для апроксимуючих функції при обчисленні функції корінь квадратний наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення констант для апроксимуючих функцій

Функція $f(x)$	Діапазони зміни аргументу, $x_j$	Константи апроксимуючої функції		Похибка
		$k_j$	$a_j$	
$\sqrt{x}$	0,02 – 0,05	$2^2$	0,05	$\leq 2 \%$
	0,05 – 0,1	$2^1$	-0,15	
	0,1 – 0,52	$2^0$	-0,22	
	0,52 – 1,55	$2^{-1}$	0,49	
	1,55 – 1,95	$2^{-1}$	0,55	

До переваг запропонованої моделі необхідно віднести незалежність формування поточного значення функції від її попереднього значення. Проте зі збільшенням точності відтворення функції збільшується число зсувів коду аргументу, а відповідно і час виконання операції.

**Побудова образно-знакової моделі функціонального перетворювача для багатозначних чисел, що відтворює функцію корінь квадратний**

Графік функції корінь квадратний  $f(x) = \sqrt{x}$  та її апроксимуюча пряма (1) наведені на рис. 2.

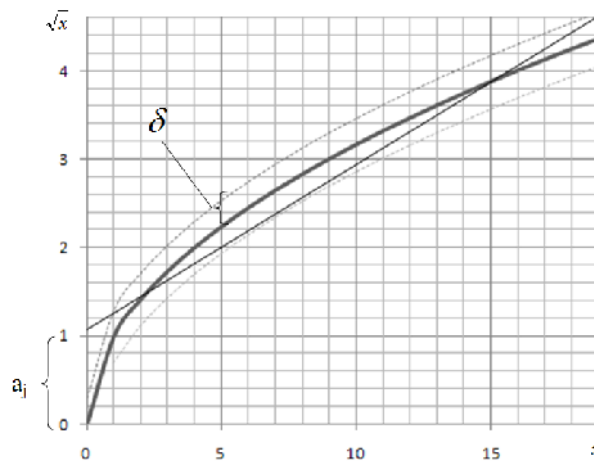


Рисунок 2 – Графік функції  $f(x) = \sqrt{x}$

Абсолютна величина похибки обчислення запропонованої моделі функціонального перетворювача для відтворення функції  $f(x) = \sqrt{x}$  (рис. 2) визначається за формулою

$$|\delta| = f(x) - (2^{\pm j} \cdot x + a_j).$$

При апаратурній реалізації функції  $f(x) = \sqrt{x}$  на заданому інтервалі  $x$  за допомогою таблично-адитивного методу запропонована образно-знакова модель спеціалізованого перетворювача [5], наведена на рис. 3.

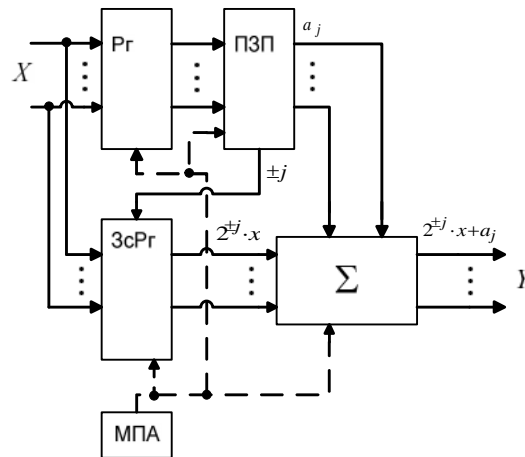


Рисунок 3 – Образно-знакова модель функціонального перетворювача для функції  $f(x) = \sqrt{x}$

Образно-знакова модель спеціалізованого перетворювача для відтворення функції корінь квадратний (рис. 3) складається з  $n$ -розрядних регістрів входу Рг і зсуву ЗсРг, мікропрограмного автомата МПА, блоку ПЗП та  $n$ -розрядного суматора.

Під час роботи функціонального перетворювача інформація, записана до регістру входу Рг, дешифрується за наявності команди управління від мікропрограмного автомата МПА. Під дією імпульсу дешифратора зчитується код коригувальної константи з числового блоку ПЗП, який надходить на перші входи суматора. Інформація про зсуви з ПЗП надходить на входи регістра зсуву ЗсРг, який забезпечує управління зсувом вхідної інформації вліво або вправо. Трансформований код з виходів цього регістра надходить на другі входи суматора, вихід якого є виходом обчислювача функції  $f(x) = \sqrt{x}$ .

Час відтворення функції при цьому дорівнює

$$t = t_e + t_{zc} + t_{сум},$$

де  $t_e$  – час вибірки;  $t_{zc}$  – час зсуву;  $t$  – час додавання.

Об'єм числового блоку ПЗП визначається за формулою

$$V = (n + c) \cdot k, \quad (2)$$

де  $k$  – число ділянок;  $c$  – число розрядів у мікрокоманді зсуву.

Коефіцієнт скорочення апаратурних витрат, який визначається як відношення об'єму пам'яті ПЗП при класичному табличному методі реалізації ( $V_{кл} = (2^n - 1) \cdot n$ ) до об'єму пам'яті ПЗП функціонального перетворювача (2), що реалізує функцію корінь квадратний, наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнт скорочення апаратурних витрат для побудови ПЗП

Функція $f(x)$	Похибка апроксимації, %					Інтервал зміни аргументу
	2	1	0,2	0.1	0.003	
$\sqrt{x}$	16	18	36	51	-	0 – 2,3

Перевагою запропонованої моделі є зменшення апаратурних затрат за рахунок використання вхідної кодової послідовності, висока надійність, висока швидкодія, яка адекватна класичному табличному методу завдяки відсутності тривалих арифметичних операцій, а високий відсоток придатних кристалів з пластини сприяє зменшенню вартості пристрою.

### ВИСНОВКИ

1. Проведено системний аналіз методів створення відповідних таблиць для функції добування квадратного кореня, що показав ефективність застосування для попереднього розрахунку відповідних таблиць  $x, y$ , методу, що базується на використанні середовища електронних таблиць MS Excel, використання якого забезпечує прозорість формування результатів без похибок та визначений метод апаратурної реалізації цієї функції на заданому інтервалі зміни аргументу.

2. Запропонована образно-знакова модель співпроцесора для обчислення функції  $f(x) = \sqrt{x}$ , яка має високу надійність та швидкодію.

3. Запропонований таблично-адитивний метод апаратурної реалізації на єдиному кристалі існуючих співпроцесорів, що сприяє розширенню функціональних можливостей за рахунок введення моделі функціонального перетворювача ( $\sqrt{x}$ ) та цифрового суматора.

Подальший розвиток передбачає зменшення часу додавання за рахунок використання таблично-логічного методу апаратурної реалізації.

### SUMMARY

#### IMPROVEMENT OF THE SPECIALIZED HYBRID MULTIFUNCTION COPROCESSOR

V. M. Lukashenko, T. Yu. Utkina, A. G. Lukashenko, S. A. Mitsenko, O. S. Verbytskyi, Cherkassy State Technological University, Cherkassy

A system analysis of methods of extract a square root is conducted. The hardware implementation of the square root function is offered, distinctive features which include the reduction of hardware costs, ensure high reliability, high-performance, adequate classic tabular method and high percentage of suitable crystals of the plate, thus reducing the cost of the device.

**Key words:** a function, a square root, a scale of notation, tabular-additive method, hardware implementation.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукашенко А.Г. Спеціалізовані співпроцесори на базі таблично-алгоритмічних методів для лазерних маніпуляторів : [монографія] / А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, Д. А. Лукашенко ; «ЧДНДІТЕІХП». – Черкаси, 2010. – 164 с. – Укр. – Деп. В ВІНИТИ 20.06.2010, № 11-хп 2010 // Анот. в РЖ «Депоновані наукові роботи». – 2010.
2. Специализированный гибридный многофункциональный сопроцессор / А. Г. Лукашенко, Н. А. Караван, В. В. Мазука, А. С. Вербицкий, А. Ю. Ботьбот, В. М. Лукашенко // Klí ové aspekty vědecké innosti – 2008 : materiály IV Mezinárodní v decko-praktická konference. – Díl 9. Matematika. Fyzika. Moderní informa ní technologie. – Praha: Publishing House «Education and Science». – P. 57–59.
3. Lukashenko A. G. Three-coordinate laser technological complex on CO<sub>2</sub> basis / A. G. Lukashenko, V. D. Shelyagin, D. A. Lukashenko, V. M. Lukashenko, M. N. Ozirskaja, V. A. Lukashenko // Nauka i studia. – Przemysl, 2011. – № 8 (30). – С. 81–88.

4. Специализированный АЦП в гибридном сопроцессоре / В. В. Мазука, А. Г. Лукашенко, Н. А. Караван, К. С. Рудаков // Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях : тези доп. І наук.-практ. конф. з міжнародною участю : (12-16 трав. 2008 р., м. Черкаси). – Черкаси : Вид-во «Черкаський ЦНТЕІ», 2008. – С. 249.
5. Пат. 40745 Україна, МПК G06G 7/00. Цифровий пристрій для обчислення функцій / В. М. Лукашенко, С. В. Дахно, А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, В. А. Лукашенко, О. С. Вербицький; заявник Черкаський державний технологічний університет. – № u 2008 13059; заявл. 10.11.2008; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.
6. Извлечение квадратного корня в столбик [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://hijos.ru/2010/12/22/izvlechenie-kvadratnogo-kornya-v-stolbik>.
7. Принцип побудови компонентів спеціалізованих систем керування для лазерного технологічного комплексу / В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, С. А. Міценко, О. С. Вербицький, В. А. Лукашенко, В. Г. Магда // Б дещето въпроси от света на науката – 2011 : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції : (17-25 дек. 2011 р., Болгарія, Софія). – Софія: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2011. – Т. 28. – С. 16–20.
8. Лукашенко А. Г. Високонадійний багатфункціональний обчислювач для спеціалізованих лазерних технологічних комплексів / А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. А. Лукашенко, В. М. Лукашенко // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 1. – С. 67–70.

*Надійшла до редакції 9 лютого 2012 р.*