

## ВІДГУК

*офіційного опонента на дисертаційну роботу **Борецького Тараса Романовича** на тему “**Розробка та реалізація методів обчислення елементарних функцій на основі програмних та апаратних засобів**”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти*

### **Актуальність теми дисертації**

Задача підвищення ефективності обчислення значень елементарних функцій залишається актуальною з часу появи перших цифрових обчислювальних пристроїв і до сьогоднішнього дня. Частково це пов’язано з безперервними змінами архітектури обчислювальних пристроїв та елементної бази.

Основними завданнями перших обчислювальних пристроїв було проведення чисельних розрахунків, в яких використовувалися і використовуються елементарні функції. Обчислювальні можливості перших ЕОМ накладали серйозні обмеження на методи обчислення елементарних функцій. Прогрес в області проектування обчислювальної техніки надав в розпорядження програмістів значні обсяги оперативної пам’яті і актуалізував завдання розробки нових швидких методів обчислення функцій, які не мають жорстких обмежень при зберіганні коефіцієнтів і таблиць значень. Однак з появою вбудованих та мобільних пристроїв, які характеризуються обмеженими апаратними ресурсами і/або автономним живленням, інтерес до підвищення ефективності методів обчислення значень елементарних функцій значно зріс.

Отже, тема дисертаційної роботи **Борецького Т. Р.**, яка присвячена розробці та дослідженню нових ефективних методів обчислення елементарних функцій є важливою та актуальною.

### **Зв'язок роботи із науковими програмами, темами**

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри безпеки інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка»: “Розробка та вдосконалення ітераційних методів обчислення елементарних функцій для систем захисту інформації» (номер державної реєстрації 0110U004687) та “Використання ітераційного методу CORDIC у системах розпізнавання відбитків пальців” (номер державної реєстрації 0114U001234).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність**

Отримані результати є обґрунтованими та достовірними, це підтверджується поданим теоретичним та експериментальним матеріалом, його науковою інтерпретацією, практичним використанням запропонованих розробок та апробацією на наукових конференціях і семінарах.

У роботі коректно застосовано методи і апаратно-програмні засоби комп'ютерних систем, основні положення обчислювальної та дискретної математики, теорії алгоритмів, теорії ймовірності та математичної статистики.

Достовірність висновків та рекомендацій підкріплена результатами моделювання, а також синтезом розроблених структур на ПЛІС.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Наукова новизна дисертаційної роботи **Борецького Т. Р.** полягає у вирішенні важливої і актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності функціонування цифрових пристроїв. Основними науковими результатами є:

1) вперше запропоновано метод інверсного повороту вектору, який функціонує паралельно з алгоритмом одностороннього повороту і за

рахунок повороту вектору лише в сторону зменшення кута дає змогу вдвічі скоротити кількість ітерацій при будь-якому вхідному значенні аргументу;

2) вперше запропоновано метод паралельної поліноміальної інтерполяції, який за рахунок оптимізації вибору коефіцієнтів та паралельного використання помножувачів дає змогу скоротити кількість ітерацій та час обчислення широкого спектру функцій;

3) удосконалено метод перекодування кута, який дає змогу скоротити кількість необхідних для обчислень ресурсів шляхом зміни вхідного значення аргументу з подальшим поданням та оперуванням лише додатними величинами, що забезпечує коректну роботу алгоритму для беззнакової логіки та зменшує апаратні затрати при описі схем мовами високого рівня;

4) удосконалено метод кусково-нелінійної апроксимації, в якому збільшення розрядності та відповідно точності обчислень відбувається за рахунок використання квадраторів, де розрахунок вищих порядків залишкового кута відбувається без використання додаткових коефіцієнтів та зміни розрядності аргументів у діапазоні обчислень;

5) удосконалено метод паралельної поліноміальної інтерполяції із використанням таблиці попередньої вибірки, що дало змогу зменшувати кількість поліномів та множень за рахунок використання ПЗП без обмежень на мінімальний об'єм таблиці, а при невеликих розрядностях аргументів використовувати поліноми першого порядку.

### **Практичне значення отриманих результатів**

1. Реалізовано метод перекодування кута із спрощеним конвеєром обчислень, що дає змогу реалізації метода CORDIC із меншою кількістю апаратних ресурсів.

2. Реалізовано метод перекодування кута на платформі ПЛІС "Cyclone" з використанням мови System Verilog, в якому всі аргументи

приймають додатні значення, що дозволило спростити реалізацію алгоритму та зменшити необхідні апаратні ресурси.

3. Реалізовано метод квадратичної апроксимації з використанням широкосмугових помножувачів ПЛІС, який забезпечує з мінімальною латентністю обчислювати тригонометричні функції та спрощувати ітерації методу CORDIC.

Основні результати теоретичних досліджень дисертації використовувались під час виконання науково-дослідних робіт кафедри безпеки інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка» та впроваджено в навчальний процес кафедри у дисциплінах «Комп'ютерні методи високорівневого проектування систем захисту» та «Комп'ютерні методи аналізу та проектування електронних засобів».

#### **Повнота викладу результатів в опублікованих працях, апробація роботи**

Основні результати дисертації відображено у дев'яти друкованих працях, з яких п'ять статей у наукових фахових виданнях України, одна стаття у науковому періодичному виданні іноземної держави, який включено до міжнародної наукометричної бази Scopus та три публікації за матеріалами наукових конференцій.

Аналіз внеску автора в публікації по питаннях, висвітлених в дисертації, показав, що внесок **Борецького Т. Р.** є вирішальним.

Автореферат повною мірою відображає зміст і основні положення дисертаційної роботи.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності **05.13.05 – комп'ютерні системи і компоненти.**

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. В першому розділі, при проведенні аналізу методів обчислення елементарних функцій, доцільно було подати вказаний аналіз в

табличному або графічному вигляді, а також конкретизувати, що зроблено іншими авторами в даній області.

2. В роботі не зовсім вдало використано термін залишкове множення та не розкрито його суть.

3. В другому розділі доцільно було привести теоретичну оцінку складності існуючих та пропонованих методів та алгоритмів обчислення елементарних функцій.

4. Розділ 3, пункт 3.2 перенасичений довідковою інформацією про ПЛІСи, розділ 4, пункт 4.3, підпункти 4.3.1-4.3.8 – перенасичений довідковою інформацією про мікроконтролери.

5. Доречно було показати переваги розроблених методів при вирішенні певної задачі, а не тільки при обчисленні окремих елементарних функцій.

6. У висновках вказано, що розроблено пристрій генерації псевдо-випадкових чисел, але в роботі приведені тільки результати досліджень.

7. В роботі наявні технічні та стилістичні неточності, зокрема відсутні заголовки в таблицях 2.2; 3.17; не вказана назва таблиці 2.4 та інші.

Незважаючи на вказані зауваження та недоліки, загалом оцінка дисертації позитивна.

## **ВИСНОВОК**

Дисертаційна робота **Борецького Т. Р.** на тему **“Розробка та реалізація методів обчислення елементарних функцій на основі програмних та апаратних засобів”** є завершеною, самостійно підготовленою кваліфікаційною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані та практично цінні результати, що вирішують важливу науково-прикладну задачу підвищення ефективності функціонування цифрових пристроїв, шляхом розробки нових та

удосконалення існуючих методів обчислення елементарних функцій і їх подальшого впровадження у складі високотехнологічних програмно-апаратних засобів.

Вважаю, що актуальність обраної теми дисертації, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна та повнота викладу в опублікованих працях відповідають вимогам п.п. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами), а її автор – **Борецький Тарас Романович** заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

**Офіційний опонент,**  
**завідувач кафедри кібербезпеки**  
**Тернопільського національного**  
**економічного університету,**  
д.т.н., доцент

**В.В. Яцків**

