

ВІДГУК

офіційного опонента,

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки Національної металургійної академії України, **Швачича Геннадія Григоровича**

на дисертаційну роботу Возної Наталії Ярославівни "**Теорія, методи та засоби структуризації поліфункціональних даних у розподілених комп'ютерних системах**", яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

1. Актуальність теми дисертації.

Перспективним напрямком удосконалення, розвитку та покращення експлуатаційних характеристик виживання комп'ютеризованих систем є глибоке розпаралелення процесів цифрового опрацювання даних. Тому запропоноване у дисертаційній роботі Возної Н.Я. застосування спецпроцесорів на низових рівнях РКС паралельно з універсальними мікроконтролерами є позитивним рішенням і відповідає актуальності та перспективам розвитку сучасних ІТ-технологій та моніторингових систем. Запропонований структурний підхід до вирішення поставленої проблеми структуризації поліфункціональних даних створює умови успішного вирішення багатьох науково-прикладних задач у цьому напрямі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Тематика дисертаційного дослідження відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки на період до 2020 року (пунктам 2-6 статті 3 Закону України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки"), визначеними Верховною Радою України, а також Наказом МОН України №1446 від 28.12.2018 р., та створенням прогресивних прикладних розробок і технологій відповідно до Концепції розвитку НАН України на 2014–2023 рр.

Важливість даного напрямку досліджень підкреслює і те, що основні етапи роботи виконувались в рамках науково-дослідних робіт кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного

економічного університету (державні реєстраційні номери: 0106U012530; 0112U008458) та госпдоговірних тем (державні реєстраційні номери: 0112U007886; 0113U007679; 0115U002340; 0116U006790; 0117U000141; 0116U006792; 0117U005103; 0119U103069), які відповідають обраному напрямку дисертації.

З огляду на вищевказане, тематика дисертаційного дослідження Возної Н.Я., яка присвячена вирішенню проблеми розвитку теорії, методології та удосконалення структур поліфункціональних обчислювальних засобів є актуальною як у науковому, так і у прикладному плані.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, що стосуються запропонованої в роботі концепції структуризації поліфункціональних даних та формалізації методів її оцінки, достатньо повно обґрунтовані теоретично та підтверджуються практичним впровадженням результатів.

Наукові положення, викладені в дисертаційній роботі, базуються та доводяться на основі математичного апарату теорії імовірності та статистичного аналізу, теорії чисел, теоретико-числових базисах та їх алгебри, теорії систем та системного аналізу, теорії графів та теорії множин. Крім того, вирішено ряд супутніх задач, які дозволяють покращити оцінку ентропії джерел інформації, кодове представлення кольорів пікселів, контроль та моніторинг квазістаціонарних об'єктів.

Наукові положення, рекомендації та висновки до всіх розділів дисертаційної роботи (ст.87-88, ст.127-129, ст.174-176, ст.215-217, ст.254-256, ст.324-330) та загальні висновки до дисертаційної роботи (ст.331-336) науково обґрунтовані та сформульовані логічно за результатами аналізу відомих рішень та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також експериментальних перевірок запропонованих методів структуризації поліфункціональних даних та удосконалених мікропроцесорних засобів.

3. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Достовірність отриманих результатів досліджень в дисертаційній роботі Возної Н.Я. забезпечується коректними теоретичними

формулюваннями, формалізованими математичними записами, алгебраїчними перетвореннями та міжбазисними перетвореннями.

Отримані теоретичні результати були підтверджені засобами програмного, апаратного та імітаційного моделювання.

Достовірність результатів дисертаційних досліджень базується на обґрунтованості припущень, результатах експериментальних досліджень, достовірному аналізі отриманих результатів, а також на успішній апробації на 38 міжнародних та національних конференціях.

Достовірність отриманих результатів підтверджується також практичними впровадженнями в Інституті мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики, конструкторському бюро "Стріла", в управлінні поліції охорони Тернопільської обл., на підприємстві "Енерготех НГ", на Львівському державному заводі "Лорта", на науково-виробничій фірмі "Зонд", а також у освітньому процесі.

Отримані теоретичні результати практично впроваджені в галузі електроенергетики, завдяки яким вдалося ефективніше здійснювати контроль та управління ЛЕП і запобігати аварійним ситуаціям та невиправданим відключенням внаслідок хибного спрацювання автоматики. Це підтверджує достовірність теоретичних положень на практиці.

4. Наукова новизна одержаних результатів.

В роботі теоретично обґрунтовано та розроблено методологічний апарат для оцінки структурної складності поліфункціональних даних. Це дозволило оцінювати та удосконалювати структуру цифрових мікроконтролерних та спецпроцесорних засобів опрацювання даних, що в багатьох випадках приводить до підвищення швидкодії їх роботи та зменшення апаратних затрат.

При вирішенні поставленої науково-технічної проблеми автором отримано наступні наукові результати.

1. Розроблена концепція структуризації поліфункціональних даних, яка охоплює процеси їх формування, кодування, передавання, опрацювання, зберігання та використання.

2. Розроблено нові критерії оцінки структурної та інформаційно-структурної складності поліфункціональних даних.

3. Розроблено теоретичні засади методу структуризації поліфункціональних у кодових системах: Радемахера, Радемахера-Крестенсона та Хаара-Крестенсона.

4. Розроблено метод визначення кореляційної ентропії станів квазістаціонарного об'єкта.

5. Розроблено метод перетворення кодів RGB-пікселів кольорових зображень шляхом їх кодування у базисах Крестенсона та Хаара-Крестенсона.

6. Розроблено метод розпізнавання збурень типу накидів, коротких замикань та запусків потужних електроприводів на основі інтегрально-диференціального опрацювання гармонічних сигналів.

7. Розроблено метод моніторингу станів квазістаціонарного об'єкта на основі характеристичного функціоналу параметрів технологічного процесу та побудови образно-кластерної моделі.

8. Удосконалено метод синтезованого формування алфавітно-цифрових даних.

9. Набув подальшого розвитку метод криптозахисту кодування пікселів кольорових зображень шляхом їх згортки з псевдовипадковими послідовностями.

Отримані теоретичні наукові результати відображають вагомий вклад дисертаційного дослідження Возної Н.Я. у розвиток теорії та методології реалізацій мікроелектронних компонентів та структурної організації сучасних кіберфізичних систем.

5. Практичне значення результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання.

У результаті проведених теоретичних досліджень та розроблених методів формування та цифрового опрацювання поліфункціональних даних отримано практичні результати, які полягають у розробленні нових схемотехнічних рішень компонентів обчислювальних засобів. А саме розроблено:

- АЦП паралельного типу з вихідними кодами в базисах Радемахера та Хаара-Крестенсона, що характеризується меншою апаратною та структурною складністю і підвищеною швидкістю у порівнянні з аналогами;

- однорозрядні неповні та повні двійкові суматори з комутованими прямими, парафазними та інверсними вхідно-виходами з гранично мінімальною затримкою сигналів суми та переносів в 1 мікротакт;

- швидкодіючі багаторозрядні суматори пірамідального типу на основі удосконалених однорозрядних неповних однофазних та парафазних суматорів підвищеною швидкодією;

- швидкодіючі багаторозрядні суматори розрядністю 128 біт з прискореним переносом на основі інкрементних суматорів зі зменшеною структурною та апаратною складністю і підвищеною швидкодією;

- пристрій визначення Хеммінгової віддалі між аналоговими сигналами з підвищеною швидкодією та зменшеною структурною складністю;

- матричні перемножувачі у базисах Хаара-Крестенсона і Радемахера

- різницево-модульний квадратор з підвищеною швидкодією обчислень модульних різниць квадратів більше, ніж на 1 порядок у порівнянні з аналогічними перемножувачами у базисі Радемахера;

- потоковий перемножувач двійкових чисел, в якому шляхом розпаралелення процесів запису, перемноження та зчитування даних досягнуто зменшення структурної та апаратної складності;

- пристрій для визначення ентропії згідно інформаційної міри К.Шеннона, в якому досягнуто покращення регулярності структури та швидкодії обчислень.

Удосконалені структури протоколів обміну даними в мережах низових рівнів кіберфізичних систем шляхом використання надлишкових кодів на виходах АЦП при різних класах точності сенсорів.

Удосконалена синтезована малогабаритна клавіатура, яка містить 16 клавіш і забезпечує криптозахист формування та передавання алфавітно-цифрових даних.

Основні результати дисертаційної роботи використано в Інституті мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики (м.Львів) та конструкторському бюро "Стріла" (м.Тернопіль), в організації систем передавання захищених від несанкціонованого доступу даних в Управлінні поліції охорони Тернопільської обл., при побудові образно-кластерної моделі станів високовольтного електричного обладнання на підприємстві "Енерготех НГ" (м.Калуш), на Львівському державному заводі "Лорта" (м. Львів); при розширенні функціональних властивостей та оптимізації

системних характеристик компонентів програмно-апаратних та мережевих засобів вимірювально-інформаційних системи контролю та управління технологічних параметрів на науково-виробничій фірмі "Зонд" (м. Івано-Франківськ).

Розроблені теоретичні основи, методи, моделі та засоби організації руху ПФД впроваджено у навчальному процесі ТНЕУ на кафедрах: Спеціалізованих комп'ютерних систем та Кібербезпеки при викладанні дисциплін: "Проектування комп'ютеризованих систем управління", "Основи метрології", "Комп'ютерна криптографія", "Теорія автоматичного управління", "Синтез цифрових систем керування", "Засоби автоматизації вимірювань, контролю та діагностики", що підвищило науковий та практичний рівень викладання цих дисциплін.

6. Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку літературних джерел з 389 найменувань та 25 додатків. Загальний обсяг роботи – 524 сторінок, з яких основний зміст викладено на 298 сторінках, включаючи 133 рисунки (на 5 сторінках розміщено рисунки та таблиці, які займають усю площу сторінки).

У *першому* розділі проведений аналіз структурної та функціональної організації відомих моніторингових комп'ютеризованих систем. Розроблена концепція структуризації даних. Сформульовані завдання наукових досліджень у даній галузі, які дозволяють оптимізувати системні характеристики складних кіберфізичних систем та реалізувати потребу в розробці нових моделей, методів та технічних рішень для досягнення мети і виконання завдань даної наукової праці. Сформульовані завдання дисертаційних досліджень.

У *другому* розділі проаналізовані відомі критерії структурної складності поліфункціональних даних. Запропоновані нові критерії оцінки структурної та функціонально-структурної складностей поліфункціональних даних у вигляді зваженої суми структурних характеристик та врахування інформативних характеристик структур. Класифіковані типи поліфункціональних даних, які застосовуються при обміні інформаційними потоками між різними компонентами у структурі РКС. Розроблений характеристичний функціонал контролю стану квазістаціонарних об'єктів.

Запропонований метод кореляційно-ентропійного опрацювання структуризованих даних згідно теоретичних засад оцінки міри ентропії Р.Хартлі, К.Шеннона та Я.Николайчука.

У *третьому* розділі розроблено основи теорії структуризації поліфункціональних компонентів складних комп'ютерних систем, здійснений аналіз елементів структур складних систем. Розроблені методи кодування пікселів кольорових зображень у двовимірному Хеммінговому просторі на основі кодів ТЧБ Радемахера-Крестенсона та Хаара-Крестенсона. З використанням запропонованих методів удосконалено спосіб криптозахисту окремих RGB-пікселів кольорових зображень в теоретико-числовому базисі Галуа.

В *четвертому* розділі, на основі проведеного аналізу структурних перетворень гармонічних сигналів при виникненні перехідних процесів у високовольтних лініях електропередач, запропонований інтегрально-диференціальний метод розпізнавання збурень у високовольтних електромережах шляхом порівняння квадратичної інтегрально-різницевої функції з пороговою уставкою. На основі теоретичних засад запропонованого методу сформульовано алгоритм розпізнавання сигналів промислової частоти та ідентифікації типів збурень. Розроблені структура пристрою релейного захисту високовольтних ЛЕП та схемотехнічні рішення компонентів його дослідного взірця, який виготовлений та випробуваний, згідно розробленої та затвердженої замовником програми випробувань в лабораторних умовах.

У *п'ятому* розділі розв'язана актуальна задача підвищення ефективності взаємодії оператора з комп'ютеризованою системою моніторингу на базі розробленого методу побудови образно-кластерної моделі контролю квазістаціонарного технологічного процесу та характеристичного функціоналу його станів шляхом побудови сукупності інформаційних, кореляційних, статистичних, спектральних, логіко-статистичних моделей. Розроблена структура системи контролю, що реалізує метод побудови образно-кластерної моделі. Застосування запропонованої математичної бази та технології побудови такого класу моделей в комп'ютеризованих системах дозволяє підвищити швидкість реакції оператора та уникнути аварійної ситуації у випадку відхилення від норми станів складних багатопараметричних об'єктів.

У шостому розділі запропоновані нові структурні рішення базових компонентів обчислювальних засобів кіберфізичних систем. Розроблені та реалізовані у мікроелектронному виконанні швидкодіючі АЦП паралельного типу на основі парафазних компараторів з розширеними функціональними можливостями з вихідними клдами у базисах Радемахера та Хаара-Крестенсона. Запропоновані структури однорозрядних неповних та повних двійкових суматорів з комутованими прямими, парафазними та інверсними входи-виходами з гранично мінімальною затримкою сигналів суми та переносів 1 мікротакт. Розроблена структура багаторозрядного комбінаційного суматора пірамідального типу з однофазними інформаційними зв'язками. Розроблена структура удосконаленого багаторозрядного суматора з прискореним переносом. Розроблені структури високопродуктивних спецпроцесорів перемножувача та різницево-модульного квадратора у базисі Хаара-Крестенсона. Запропонована структура швидкодіючого матричного перемножувача на основі однорозрядних повних двійкових суматорів з комутованими парафазними входами та виходами. Автором запропоновано пристрій визначення ентропії, який здійснює розрахунок ймовірнісної ентропії на основі оцінки К.Шеннона.

Висновки по роботі сформульовані достатньо чітко та стисло узагальнюють основні досягнуті результати досліджень та їх практичну реалізацію.

Список використаних джерел охоплює достатню кількість праць зарубіжних та вітчизняних авторів в даній предметній галузі. Опрацьований перелік джерел свідчить про глибокий аналіз сучасного стану досліджуваної проблеми та здобутки в цій сфері.

Додатки до роботи є змістовним доповненням дисертаційної роботи. Вони містять структурні характеристики перехідних процесів в електромережах, результати програмного моделювання та код програми розпізнавання збурень у високовольних ЛЕП, розрахунок системних характеристик компонентів пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань, копії програми та результатів лабораторних випробувань дослідних взірців пристрою релейного захисту ПРЗ.6-10, програму та результати верифікації алгоритмів побудови ОКМ для відображення технологічних станів ОУ на тестових та експериментальних сигналах,

принципи роботи удосконалених пристроїв, результати реалізація VHDL-моделей удосконалених пристроїв у середовищі Active-HDL, акти впровадження результатів дослідження та копії титульних сторінок отриманих патентів на винаходи.

7. Стиль, оформлення дисертації, автореферату. Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій у публікаціях та відповідність спеціальності.

В дисертаційній роботі витримано стиль викладення технічної інформації у відповідності до державного стандарту. Обсяг, структура та зміст дисертаційної роботи і автореферату відповідають чинним вимогам «Порядку присудження наукових ступенів». Дисертаційна робота містить наукові положення та науково обґрунтовані результати у галузі обчислювальної техніки і розв'язує важливу науково-прикладну проблему. Отримані здобувачем результати є його власними, що підтверджуються патентами, авторськими свідоцтвами, публікаціями в науково-технічних вітчизняних та міжнародних виданнях. Всі науково-практичні здобутки опубліковані у: фахових наукових виданнях України - 25 статей, 5 монографіях (1 з них - одноосібна), у закордонних періодичних наукових виданнях - 8 статей, представлені на 38 міжнародних та національних конференціях, 20 праць входять в міжнародну наукометричну базу SCOPUS, а також отримано 5 патентів України на винаходи, та 12 патентів України – на корисні моделі.

Зміст автореферату достатньо повно відображає зміст і результати дисертаційної роботи.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

8. Зауваження до дисертації та автореферату.

1. На ст. 90-93 дисертації приведені аналітичні вирази різних функціональних оцінок структурної складності, серед яких відсутній критерій логарифмічної складності, який введений у розділі 6 на ст. 260. Доцільно було б дослідити динаміку кількісних оцінок цих критеріїв у порівнянні із застосованою адитивною оцінкою структурної складності, що покращило б розуміння його вибору для практики.

2. На рис. 1.9 ст. 79 дисертаційної роботи приведена структура організації моніторингу інформаційних процесів формування, передавання та зберігання даних онтологічних моделей, але поглиблений аналіз його переваг та функціональних обмежень відсутній. Не показано також які методи та процеси застосовані у розроблених методологічних та технічних рішеннях дисертаційної роботи.

3. У розділі 2 (підпункт 2.2) дисертації недостатньо глибоко проаналізовані та показані переваги розпаралелення процесів цифрового опрацювання вимірювальних даних на низових рівнях розподілених комп'ютеризованих систем згідно запропонованого кластера спеціалізованих процесорів, які реалізують складні обчислення статистичних, кореляційних, спектральних та ентропійних характеристик моніторингу технологічних процесів.

4. У другому розділі автореферату на ст.9 приведені аналітичні вирази відомих критеріїв структурної складності, в яких відсутні пояснення змісту аргументів $V_k, b_n, b_m, X_i, Y_j, F, n, m, f_l, L, E, \tau_j$. Хоча в дисертаційній роботі відомі критерії пояснені детально на ст.90-93.

Зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукову цінність.

9. Загальні висновки.

Представлені в дисертаційній роботі нові наукові результати є вагомими, теоретично обґрунтованими, науково підтвердженими і значущими для галузі інформаційних технологій та дозволяють ефективно вирішувати актуальну науково-прикладну проблему розвитку теорії, методології та удосконалення структур поліфункціональних обчислювальних засобів, які є компонентами складних комп'ютерних систем.

Напрямок проведеного дослідження відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Дисертаційна робота Возної Н.Я. "Теорія, методи та засоби структуризації поліфункціональних даних у розподілених комп'ютерних системах" є завершеною науковою роботою і відповідає вимогам, що висуваються до докторських дисертацій згідно п 9, 10, 12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника".

У зв'язку з вищенаведеним вважаю, що дисертація за актуальністю, новизною теоретичних та експериментальних результатів, високим рівнем проведених досліджень відповідає вимогам ДАК МОН України до докторських дисертацій з технічних наук, а її автор, Возна Наталія Ярославівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри прикладної математики
та обчислювальної техніки
Національної металургійної академії України,
доктор технічних наук, професор

Швачич Г. Г.

Підпис проф. Швачича Г. Г. засвідчую.
Начальник ВК НМетАУ



Шифрін В.С.