

67-72-27/2
11.03.16

Голові спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.08
НУ "Львівська політехніка"
д.т.н., проф. Стаднику Б.І.
79013, м. Львів, вул. С.Бандери 12

ВІДГУК

Офіційного опонента на дисертаційну роботу Мельничука Степана Івановича
**"Методи та програмно-апаратні засоби опрацювання сигналів з
поліпараметричною інформаційною ентропією"**,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дослідження обумовлена значним зростанням ринку автономних спеціалізованих комп'ютерних систем, орієнтованих на різні предметні області, а також зростанням кількості комунікаційних каналів, що забезпечують їх розподіленість та масштабованість. Така ситуація зумовлює пошук нових теоретичних та практичних підходів як при проектуванні самих систем (з'являється поняття «Кібер-фізичні системи»), так і при реалізації компонентів первинного перетворення форми інформації в кібер-фізичних системах: розвиток нового покоління цифрових засобів обміну даними, що ґрунтуються на опрацюванні широкосмугових сигналів з великою базою; вдосконалення теорії, методів і засобів опрацювання сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками в комп'ютерних системах ідентифікації та діагностування. Інформаційно-вимірювальні канали фактично є основою побудови ефективних сучасних комп'ютерних систем в області контролю, вимірювання, ідентифікації та діагностування. Виділення інформативної частини електричного сигналу, практично реалізується на основі методів статистичного, спектрального, кореляційного аналізу за такими характеристиками як амплітуда, частота, фаза, а також їх комбінації. Забезпечення відповідної достовірності обміну даними в комунікаційних каналах ґрунтується на використанні широкосмугових сигналів та кореляційного опрацювання. Згадані підходи мають ряд недоліків до яких слід віднести: необхідність зберігання еталонів сигналів, використання громіздких алгоритмів кореляційного та спектрального аналізу. Тому актуальною є проблема пошуку альтернативних підходів до формування, опрацювання та передачі широкосмугових сигналів в комп'ютерних системах. Використання запропонованих в дисертації імовірнісних, зокрема ентропійних характеристик, дає ряд переваг, таких як ефективніше використання частотної смуги каналу даних, спрощення апаратного і програмного забезпечення, забезпечення належної завадостійкості тощо.

Таким чином у дисертаційній роботі автором розв'язується актуальна науково-технічна проблема, спрямована на розвиток теорії та впровадження програмно-апаратних засобів, які будуються на основі ентропійного підходу до створення нових ефективних технологій опрацювання широкосмугових випадкових сигналів у комп'ютерних системах та їх компонентах. Розроблені в роботі методи, моделі та програмні засоби виступають як ефективні засоби досягнення поставленої мети. Дисертаційна робота в повній мірі висвітлює підходи до вирішення поставленої науково-технічної проблеми, її структура логічна, містить вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел і додатки.

Оцінка змісту дисертації. Представлена робота є закінченим науковим дослідженням, що присвячене вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми розвитку теорії, методів, алгоритмічних та програмно-апаратних рішень, що реалізують нові цифрові технології опрацювання сигналів у компонентах первинного перетворення інформації, компонентах обміну даними, засобах ідентифікації та діагностування інформаційно-вимірювальних комп'ютерних систем.

Робота носить комплексний характер – розроблена автором концепція дозволяє отримувати інформацію, передавати її завадостійкими методами в різних сферах діяльності від газопостачання до медицини.

Вступна частина визначає актуальність роботи, показує зв'язок з науковими програмами, планами та темами, формулює мету, об'єкт і предмет дослідження, визначає методи дослідження. У Вступі розкрита наукова новизна отриманих результатів та їхнє практичне значення і впровадження, підкреслено особистий внесок автора, проходження апробації та публікацій результатів, показана структура і обсяг дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз теорії та методів опрацювання сигналів як інформаційних функцій параметрів об'єктів і процесів, дано визначення поліпараметричної ентропії сигналів у комп'ютерних системах, розглянуто основні тенденції розвитку первинних перетворювачів та інформаційно-вимірювальних каналів витрати газу, які використовуються в еталонних повірочних системах; розглянуто теоретичні основи, методи та засоби формування і опрацювання сигналів в комп'ютерних системах, а також базові підходи та методи опрацювання цифрових представлень об'єктів і процесів у комп'ютерних системах ідентифікації і діагностування. Визначено напрямки, які забезпечують розвиток та вдосконалення згаданих технологій.

У **другому розділі** на основі дослідження статистичних характеристик широкопasmових випадкових сигналів вимірюваного середовища розроблено метод опрацювання вимірювальних сигналів, які характеризуються змінною інформаційною ентропією; проаналізовано ентропійну інформативність смуг частотного спектру таких сигналів, визначено вплив на неї дрейфу нуля; шляхом моделювання досліджено вплив апертури станів аналого-цифрових перетворювачів на ентропію сигналу та ефективність методів розрахунку оцінок ентропії. В результаті визначено методи спрощення конструкції давачів сигналів, забезпечення нечутливості до дрейфу нуля їх сенсорних елементів при збереженні високої точності перетворення.

У **третьому розділі** розроблено теоретичні засади і методи формування та опрацювання випадкових широкопasmових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією; досліджено ефективність використання сигналів різної форми та обмеження множини станів давачів при оцінюванні ентропії; проведено оцінку завадостійкості розробленого методу при фіксованому співвідношенні потужностей сигнал/завада в точці прийняття рішень щодо символів інформаційного повідомлення, в результаті запропонований метод який, на відміну від відомих, не потребує формування еталонних псевдовипадкових послідовностей і використання кореляційного опрацювання.

У **четвертому розділі** на основі аналізу теорії та цифрових технологій ідентифікації знаково-символьних об'єктів, представлених матрицями характерних ознак, розроблено метод побудови і опрацювання проєкцій матриць, проєкції

характеризуються варіативною інформаційною ентропією; проведено дослідження кореляційних властивостей проєкцій двомірних символічних об'єктів для різних статистичних характеристик, за яким підтверджено переваги використання оцінок інформаційної ентропії; досліджено ефективність запропонованого підходу за наявності рівномірних спотворень представлення об'єкту, доведено, що запропонований метод не потребує зберігання матричних шаблонів та спрощує опрацювання за рахунок зменшення розмірності векторів інформативних ознак, а також забезпечує адекватність ідентифікації, близьку до адекватності кореляційних методів.

У п'ятому розділі на основі аналізу теоретичних підходів та технологій опрацювання біоакустичних сигналів в системах медичного діагностування розроблено новий метод опрацювання широкосмугових акустичних реалізацій діагностичних сигналів зі змінною інформаційною ентропією, які мають малоінформативні спектральні характеристики; шляхом моделювання досліджено вплив апертури амплітуд сигналів діагностування при використанні різних інформаційних мір розрахунку ентропії, в результаті вперше введено кількісну міру ефективності векторів інформативних ознак, як верхню межу флуктуації коефіцієнта взаємкореляції модульної функції, а також визначено часткову інваріантність оцінок інформаційної ентропії вектору інформативних ознак до апертури діагностичного сигналу.

У шостому розділі розроблено апаратні, алгоритмічні та програмні засоби для опрацювання сигналів зі змінною ентропією у складі каналу з ентропійним перетворювачем для комп'ютерної інформаційно-вимірювальної системи визначення витрати еталонної повірочної установки; розроблено схемотехнічні та алгоритмічні рішення цифрових пристроїв формування і опрацювання випадкових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією в каналах обміну даними комп'ютерних систем; розроблено структуру, алгоритмічні та програмні рішення інформаційної системи контролю ефективності знімних конструкцій за ентропійними характеристиками тестових акустичних сигналів.

Загалом дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, має логічну структуру, викладена грамотною науковою мовою з дотриманням відповідної термінології.

Наукова новизна отриманих результатів підтверджується патентами, публікаціями автора та апробацією, до основних наукових здобутків слід віднести:

- вперше встановлено, що між величиною витрати потоку газового середовища та статистичними характеристиками випадкового сигналу існує тісний кореляційний зв'язок;

- вперше запропоновано метод формування та опрацювання широкосмугових вимірювальних сигналів зі змінною інформаційною ентропією, яка зумовлена стохастичними пульсаціями тиску потоку газового середовища. На відміну від відомих методів для визначення витрати використано імовірнісні характеристики сигналів, що дозволило усунути залежність від режиму руху вимірювального середовища і зменшити вплив неінформативних складових сигналів на результат вимірювання;

- вперше запропоновано метод формування широкосмугових сигналів на основі маніпуляції реалізаціями випадкового сигналу з керованою інформаційною ентропією, що дозволило відмовитись від використання псевдовипадкових

послідовностей, а також покращити завадостійкість нормованого відношення сигнал/завада на вході системи опрацювання;

– вперше запропоновано метод опрацювання широкосмугових випадкових сигналів, за яким виділення біт повідомлення здійснюється за статистичним оцінюванням значень інформаційної ентропії відповідних фрагментів таких сигналів, що на відміну від кореляційних методів не потребує зберігання еталонів форми сигналів, за характеристиками наближається до оптимальних кореляційних методів і при опрацюванні сигналів в умовах однакової часової складності дозволяє покращити завадостійкість не менше як в півтора рази при заданій імовірності помилок;

– удосконалено метод опрацювання вимірювальних сигналів, що реалізується шляхом статистичного оцінювання значень інформаційної ентропії амплітуд послідовних фрагментів шумів контрольованого середовища. На відміну від характеристик відомих методів запропонований метод є інваріантним до дрейфу нуля амплітуди сигналів перетворювача, що дозволило забезпечити експлуатаційну стабільність та зменшити відносну стандартну невизначеність вимірювальних даних;

– удосконалено обчислювальний проєкційний метод ідентифікації об'єктів, за яким побудову проєкцій запропоновано здійснювати шляхом статистичного оцінювання значень інформаційної ентропії відповідних фрагментів двомірних бінарних матриць їх представлень, що дозволяє спростити програмну реалізацію та забезпечити практично таку ж адекватність ідентифікації, як і при кореляційному опрацюванні в умовах випадкових спотворень з рівномірним розподілом;

– отримали подальший розвиток методи опрацювання діагностичних сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками, що ґрунтуються на використанні імовірнісних представлень послідовних фрагментів їх амплітуд, які отримуються шляхом статистичного оцінювання значень інформаційної ентропії, що вперше дозволило ввести кількісну міру ефективності – верхню межу флуктуації коефіцієнта взаємкореляції модульної функції, ентропійних векторів інформативних ознак.

Практична цінність отриманих результатів підтверджується відповідними актами впровадження у виробництво та навчальний процес, до основних практичних здобутків слід віднести:

1. Розроблено первинний перетворювач витрати, на основі якого реалізовано інформаційно-вимірювальний канал на еталонній дзвоновій установці, відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення, які здійснюють опрацювання широкосмугових сигналів зі змінною інформаційною ентропією, перетворювач за компактних розмірів забезпечує покращення точності перетворення та зменшення тривалості формування даних.

2. Розроблено апаратні та алгоритмічно-програмні рішення цифрових пристроїв формування та опрацювання широкосмугових випадкових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією, що дозволило покращити завадостійкість та забезпечити зростання швидкості опрацювання сигналів порівняно з кореляційними методами.

3. Розроблено апаратне, алгоритмічне та програмне забезпечення засобів обміну даними з віддаленими первинними перетворювачами низових комп'ютерних систем контролю та обліку споживання енергоносіїв і матеріальних ресурсів в побутовому та промисловому секторах.

4. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення комп'ютерної системи діагностування артикуляційного простору, що ґрунтується на представленні сигналів з низькою амплітудно-частотною інформативністю у вигляді векторних оцінок інформаційної ентропії, що забезпечує збіжність результатів опрацювання таких сигналів та дозволяє вперше використати параметр флуктуації модульної взаємкореляційної функції як один з вагомих критеріїв при діагностуванні.

5. Результати роботи впроваджено в науково-дослідному проектному інституті ВАТ "Укрнафта", інженерно-впровадницькій фірмі "Темпо", ПАТ "Івано-Франківськгаз", Івано-Франківському національному медичному університеті ІФНМУ.

6. Результати роботи впроваджено у навчальному процесі кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету, кафедри комп'ютерної та програмної інженерії приватного вищого навчального закладу "Галицька академія", Івано-Франківськ.

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях. Матеріали дисертації обсягом 463 сторінок викладено у 6 розділах, 342 найменування у списку використаних джерел, а також 12 додатків.

Кількість та обсяг друкованих робіт відповідає вимогам щодо публікації матеріалів дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи опубліковано у 86 працях, з них 46 статей, 42 – у фахових виданнях, з них 8 у виданнях, що цитуються в наукометричних базах, 11 патентів України на винахід. Результати досліджень апробовано на 29 міжнародних науково-практичних конференціях.

Зміст дисертації повністю відповідає назві роботи, зміст автореферату відповідає змісту дисертації і достатньо повно відображає основні положення наукового дослідження, що виносяться на захист.

На захист виносяться положення отримані автором особисто, з праць опублікованих у співавторстві використано матеріали, що запропоновані та пропрацьовано автором.

Наукові та практичні результати отримані при підготовці кандидатської дисертації в матеріалах докторської дисертації автором не використовувалися.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Достовірність результатів, отриманих в ході досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій обґрунтовано, що підтверджується ґрунтовним аналізом відомих теоретичних підходів та науково-технічних рішень, використанням математичного апарату теорії інформації та кодування, положень теорії вимірювань та теорії сигналів, теорії та методів ідентифікації і діагностування, методів комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування та прикладного програмування, на основі яких запропоновано методи, схемотехнічні та алгоритмічно-програмні рішення систем цифрового опрацювання сигналів з поліпараметричною інформаційною ентропією.

Зауваження щодо змісту дисертації.

1. Одним з недоліків відомих методів, що використовуються для вимірювання витрат газу, у роботі відмічено наявність додаткового опору потоку (с. 9, с. 39, с. 310). У той же час на с. 55 автор сам пропонує використання «звужуючих пристроїв, завихрювачів», які створюють додатковий опір, у р. 2.2 досліджується використання формувачів-перетворювачів, які знаходяться у потоці газу (рис. 2.14

на с. 125, рис 2.16 на с. 128), а на рис. 6.1 б) (с. 310 роботи) показано структурну схему запропонованого автором первинного перетворювача, сенсор якого розташовано на осі потоку газу, що також створює додатковий опір потоку. У роботі не показано, на скільки менший опір утворюється при використанні запропонованого автором методу.

2. Іншим недоліком відомих методів опрацювання ширококутових сигналів у роботі названо «необхідність застосування складних апаратних і алгоритмічних методів формування псевдовипадкових послідовностей» (с. 11), оголошується (с. 16, с. 238), що «запропоновано метод формування ширококутових сигналів ..., що дозволило відмовитися від використання псевдовипадкових послідовностей». У той же час на рис. 6.27 (с. 340) наведено схему запропонованого автором «пристрою формування випадкових ширококутових сигналів», які формуються «програмним генеруванням 8-ми розрядного випадкового числа». Програмно, без фізичного давача випадкових сигналів, можна сформувані тільки псевдовипадкові коди, як і у відомих методах.

3. Іншим недоліком відомих методів опрацювання ширококутових сигналів у роботі названо «потребу зберігання еталонів сигналів» (с. 11, с.16). У той же час, запропоновані автором алгоритмічні та програмні рішення опрацювання сигналів із змінною інформаційною ентропією вимагають обчислення логарифмів, для чого також необхідно зберігати «еталони» - коефіцієнти формул, за якими обчислюються логарифми (с. 320 – 326). А на с. 348 автор стверджує, що і реалізація запропонованого методу також вимагає зберігати «еталон форми псевдовипадкового сигналу». У роботі не подано порівняння об'ємів пам'яті для збереження еталонів за відомими методами і запропонованими.

4. Зміст присутнього у назві роботи виразу «поліпараметрична» у роботі розкрито недостатньо повно, він згадується у вступній частині роботи (с. 28), при визначенні мети та об'єкту досліджень, у Висновках до роботи – не згадується. Префікс *poly-* має значення "багато, кілька" або "різний, різноманітний", в роботі поліпараметричний тлумачиться як такий, що представляє (один) змінний параметр, який залежить від джерела формування (с. 34). Натомість, у роботі замість виразу «поліпараметрична» вживаються вирази «змінна інформаційна ентропія», «маніпульована інформаційна ентропія» (с. 13) без уточнення їхнього зв'язку із «поліпараметричною інформаційною ентропією».

5. У роботі стверджується (с.18), що оптимальні кореляційні методи характеризуються «значно більшою алгоритмічною та обчислювальною складністю» в порівнянні з запропонованими методами. Кількісна оцінка не наведена, так само як і оцінка апаратної, програмної, структурної та інших складностей. У той же час, вирази «значна складність», «підвищена складність», «менші обчислювальні затрати», «суттєве зменшення складності», «суттєво спростити», «громіздкий» та їм подібні без кількісних параметрів зустрічаються і в інших місцях тексту (с. 70, 75, 78, 231, 237, 238, 306, 307, 363).

6. Запропоновані у роботі методи обчислення інформаційної ентропії мають не рівну 0 абсолютну похибку на кінцях діапазону, де сама ентропія має значення 0 (рис. 6.10, 6.12 на с. 322, 325). Це свідчить про те, що відносна похибка запропонованих методів у крайніх точках діапазону існування ентропії прямує до нескінченності. Рис. 6.10, 6.22 суперечать рис. 6.22 (с. 336), де абсолютна похибка на кінцях діапазону вже дорівнює 0, без пояснень, за рахунок чого це досягнуто.

7. Запропонована у роботі реалізація обчислення логарифмів (р. 6.2) не враховує технічні характеристики вимірювального пристрою, для визначеної у роботі точності 0,5% (с. 17) можна використати замість таблично-аналітичних табличні методи відразу для обчислення величини добутку ймовірності на її логарифм.

8. Варто внести до списку скорочень окремі математичні символи та позначення, які використовуються в роботі (с. 27, особливо символи з діакритичними позначками), а також позначення фізичних величин (с. 51)

9. Для скорочення аналітичного Розділу 1 доцільно було би технічні дані аналізованих пристроїв (с. 64) винести у Додатки. Аналітичну частину 4-го розділу (р. 4.1 «Теоретичні основи ...» с. 240 - 246), 5-го розділу (р. 5.1 «Теоретичні основи ...» с. 274 – 280) доцільно було би перенести до 1-го розділу або розмістити у Додатках. Також до Додатків доцільно було би перенести схеми, результати моделювання та фотографії з р. 6. Описи додаткових досліджень з р. 6 (с. 347-348) доцільні у попередніх розділах. Назви Додатків доцільно було би відобразити у Змісті роботи.

10. У роботі присутні механічні, граматичні та стилістичні помилки (пропуски пробілів (наприклад, с. 36), літер (с. 26), математичних символів і позначок у формулах (1.21, 1.24, с.249 – пропущено «мінус» при обчисленні ентропії за формулою Шеннона), помилкові написання окремих слів (с. 31), різні фізичні змінні позначено однаковими символами (с. 51 та с. 53), хибні посилання на рисунки (с.71, посилання на рис. 2.5 а), варіації термінів (газ – повітря, с. 101, 106, мікроконтролер – однокристальний мікрокомп'ютер (рис.6.30 на с. 343, с. 358)), назви рис. 1.3 – 1.8 «Схема» не відповідають наведеним на них часовим діаграмам та графікам, дріб у формулі 2.42 на с. 169 не є неперервним, використання позначок \sin , \cos на с. 24 без аргументів у тексті для вказівки на відповідні функції, пропущено позначення \lim на с. 187 у поясненнях до формули 3.7, значення середньоквадратичного відхилення подаються без їхньої розмірності (с. 229), довірча ймовірність більша за 1 (с. 302), не позначено величини, що відкладаються на осях графіків (рис. 5.17 на с. 303), від'ємне значення ентропії на рис. 5.18, 5.19 (с. 304, 305), відсутні умови розгалуження на блок-схемах (рис. 6.33, 6.35 на с. 346, 349)).

Вважаю, що згадані недоліки та зауваження суттєво не впливають на теоретичну новизну і практичну цінність отриманих результатів та загальну позитивну оцінку дисертації.

Висновки щодо відповідності дисертаційної роботи встановленим вимогам. В цілому, дисертаційна робота Мельничука С.І. "Методи та програмно-апаратні засоби опрацювання сигналів з поліпараметричною інформаційною ентропією" є завершеною науковою працею, в якій викладено нові теоретично обґрунтовані результати, що є вирішенням актуальної науково-технічної проблеми: створення нових ефективних технологій цифрового опрацювання сигналів у комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах та їх компонентах, які використовують ентропійні характеристики сигналів як опосередкований параметр інформативних ознак процесів, на основі яких вони формуються.

Подана дисертаційна робота за темою та змістом відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені у публікаціях автора: фахових, цитованих та закордонних наукових виданнях, а також апробовані на міжнародних науково-практичних конференціях.

За науковим рівнем та практичною цінністю дисертаційна робота відповідає встановленим вимогам щодо докторських дисертацій згідно п.10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., а її автор – Мельничук Степан Іванович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Професор кафедри електронних
обчислювальних машин
Національного університету "Львівська політехніка",

д.т.н., доц.

Глухов В.С.

Підпис В.С. Глухова підтверджую:
Вчений секретар
Національного університету «Львівська політехніка»,

к.т.н., доцент



Брилинський Р.Б.