

67-72-27/1
10.03.16

Голові спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.08
Національного університету
"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",
яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти**

Дисертаційна робота викладена у 6-ти розділах обсягом 457 сторінок, з яких 363 сторінки основного тексту, що містить 190 рисунків, 27 таблиць та 11 додатків; список використаної літератури складає 342 найменування.

1. Актуальність теми дослідження

В умовах дефіциту енергоносіїв однією з важливих прикладних проблем є вдосконалення контролю витрати енергоносіїв, зокрема природного газу. В такій ситуації запровадження нових цифрових технологій при реалізації компонентів первинного перетворення в інформаційно-вимірювальних комп'ютерних системах зумовлює необхідність пошуку нових рішень на теоретичному та прикладному рівнях для покращення надійності, метрологічних характеристик та експлуатаційної ефективності засобів обліку та контролю споживання енергоносіїв.

Функціонально, сучасні первинні перетворювачі, в більшості випадків, ґрунтуються на опрацюванні амплітудних характеристик сигналів і задіяні технології практично досягли межі своїх можливостей. Тому актуальним є використання альтернативних додаткових джерел вимірювальної інформації, зокрема, оцінок інформаційної ентропії шумів, що породжуються контрольованим середовищем.

Запропонований в дисертаційній роботі Мельничука С.І. підхід дозволяє забезпечити ряд суттєвих переваг: інваріантність до дрейфу, зменшення впливу сторонніх шумів на вимірювальні сигнали, розширення діапазону, зменшення невизначеності вимірювальних даних. Крім того, ефективне функціонування сучасних комп'ютерних систем практично неможливе за відсутності надійних комунікаційних каналів, що зумовило

виникнення нового покоління цифрових засобів обміну даними, реалізованих на основі опрацювання широкосмугових сигналів.

Проте такі технології, в якості ознак маніпуляції сигналів використовують амплітуду, частоту, фазу чи їх комбінації, що зумовлює свої недоліки: застосування складних апаратних і алгоритмічних методів формування псевдовипадкових послідовностей, необхідність зберігання еталонів сигналів, використання громіздких алгоритмів кореляційного опрацювання.

Слід зауважити, що реалізація комп'ютерних систем в задачах контролю, ідентифікації та діагностування традиційно ґрунтуються на опрацюванні амплітудних, частотних, фазових характеристик, що не дозволяє забезпечити прийнятної ефективності опрацювання сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками обмеженої тривалості.

Тому актуальними є застосування альтернативних підходів до формування і опрацювання широкосмугових сигналів в каналах обміну даними комп'ютерних систем, зокрема, на основі ентропійного підходу, що створює низку переваг, та вдосконалення наявних і створення нових підходів до опрацювання сигналів, які реалізуються методологіями аналізу кепстру, малохвильових перетворень тощо.

В такій ситуації використання додаткових, зокрема, імовірнісних, характеристик інформаційного сигналу, також дозволяє отримати додаткові інформативні характеристики сигналів при одночасному спрощенні апаратного і програмного забезпечення цифрових систем опрацювання порівняно з традиційними підходами.

Ідея роботи є в достатній мірі конструктивною, оскільки вирішення поставлених завдань ґрунтується на співпраці з фахівцями різних галузей знань, різноманітними методами та технологіями, що створює проблему їх ефективної взаємодії. вирішення науково-прикладної проблеми розвитку теорії та впровадженню програмно-апаратних засобів на основі ентропійного підходу до створення нових ефективних технологій опрацювання сигналів у компонентах первинного перетворення інформації, реалізації обміну даними, ідентифікації та діагностування у комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах дійсно є актуальним.

2.Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, пріоритетними напрямку розвитку науки і техніки

Розроблені в роботі методи та засоби формування і опрацювання сигналів разом з їх використанням при реалізації компонентів інформаційно-вимірювальних комп'ютерних систем і мереж безпосередньо пов'язані з науково-дослідними роботами, які виконувались Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу, Івано-Франківським науково-дослідним і проектним інститутом ВАТ «Укрнафта», Івано-Франківським державним центром стандартизації, метрології і сертифікації та Тернопільським національним економічним університетом.

3. Наукова новизна дисертаційної роботи

полягає в розвитку наукових та методологічних основ цифрових технологій опрацювання сигналів в комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах орієнтованих на різні предметні області.

Найвагомішими науковими результатами дослідження є те, що у виконаній роботі

вперше:

- ◆ запропоновано метод формування та опрацювання широкосмугових вимірювальних сигналів зі змінною інформаційною ентропією, котрі зумовлені стохастичними пульсаціями тиску потоку газового середовища, в якому, на відміну від відомих методів, для визначення витрати використано імовірнісні характеристики (останнє дозволило зменшити вплив неінформативних складових випадкових сигналів середовища на результат вимірювання);
- ◆ запропоновано метод формування широкосмугових сигналів на основі маніпуляції реалізаціями випадкового сигналу з керованою інформаційною ентропією, що дозволило відмовитись від використання псевдовипадкових послідовностей для збільшення бази сигналу, а також покращити завадостійкість нормованого відношення сигнал/завада на вході системи опрацювання;
- ◆ запропоновано метод опрацювання широкосмугових випадкових сигналів, згідно з 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, а також 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 ймовірності помилок;

удосконалено:

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

результатів ідентифікації, як і при кореляційному опрацюванні в умовах випадкових спотворень з рівномірним розподілом;

набули подальшого розвитку

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

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність наукових положень, висновків та результатів досліджень поданих у дисертаційній роботі підтверджується коректністю використання математичного апарату, положень теорії інформації, теорії сигналів, теорії вимірювань, методів моделювання в чисельному експерименті, а також відповідними патентами, апробацією результатів на міжнародних конференціях, актами впровадження, зокрема, на еталонній установці, передбаченої державною повірочною схемою для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу згідно ДСТУ 3383:2007.

5. Практичні результати роботи і рекомендації щодо їх використання

Усі теоретичні розробки наукової роботи автора доведено до практичних рішень у вигляді схемотехнічних, алгоритмічних та програмних реалізацій, а також методологічних підходів, що підтверджено відповідними актами впровадження.

У роботі:

- ◆ реалізовано інформаційно-вимірювальний канал витрати комп'ютерної системи еталонної повірочної установки на основі первинного перетворювача, що ґрунтується на розробленому ентропіному методі опрацювання шумів потоку вимірюваного середовища;
- ◆ розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення реалізації опрацювання широкосмугових вимірювальних сигналів зі змінною інформаційною ентропією, що дозволяє забезпечити покращення точності та зменшення тривалості формування даних;
- ◆ розроблено цифрові засоби реалізації комунікації на основі універсального мікроконтролера, синтезовано схемотехнічне рішення спецпроцесора опрацювання комунікаційних сигналів, що ґрунтуються на розробленому методі маніпуляції ентропійних ознак випадкових широкосмугових сигналів;
- ◆ розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення засобів обміну даними каналного рівня комп'ютерної системи обліку споживання

енергоносіїв, на основі широкосмугових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією;

- ◆ розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення діагностичної комп'ютерної системи, що ґрунтується на опрацюванні векторних наборів оцінок інформаційної ентропії сформованих за тестовими сигналами з подальшою інтерпретацією і формуванням висновку, який ґрунтується на використанні флуктуації модульної взаємкореляційної функції, що дозволило аналізувати сигнали з малоінформативними спектральними характеристиками та забезпечити збіжність результатів опрацювання діагностичних сигналів.

Основні результати дисертаційної роботи знайшли своє застосування:

- ◆ у науково-дослідних та дослідно-конструкторських роботах з проектування каналів обміну даними розподілених комп'ютерних систем і вузлів комерційного обліку споживання енергоносіїв об'єктів нафтогазової промисловості НДПІ ВАТ «Укрнафта»;
- ◆ при вдосконаленні інформаційно-вимірювального каналу контролю витрати комп'ютерної системи еталонної установки повірки побутових лічильників газу ІВФ «Темпо»;
- ◆ при реалізації комп'ютерної системи електроміографічного діагностування жувальних м'язів ІФНМУ;
- ◆ у навчальному процесі вишів ПВНЗ «ГА», ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ), ТНЕУ (м. Тернопіль) при викладанні дисциплін «Комп'ютерні системи» і «Мережні інформаційні технології» студентам напряму підготовки «Комп'ютерна інженерія».

Результати наукових досліджень можуть бути використані, як комплекс методів, структурних, алгоритмічних та програмно-апаратних рішень для побудови високоефективних компонентів комп'ютерних систем, зокрема цифрових взірцевих первинних перетворювачів інформаційно-вимірювальних каналів витрати газу, компонентів реалізації обміну даними, комп'ютерних систем діагностування та ідентифікації.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення

Структура дисертаційної роботи є логічною, оформлення відповідає встановленим вимогам та загальноприйнятим нормам щодо представлення наукових досліджень. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Подана до захисту робота є закінченим науковим дослідженням, що присвячене вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми розвитку теорії та впровадження програмно-апаратних засобів на основі ентропійного підходу до створення нових ефективних технологій опрацювання сигналів у компонентах первинного перетворення інформації, цифрових компонентах реалізації обміну даними, а також ідентифікації та діагностування у інформаційно-вимірювальних комп'ютерних системах орієнтованих на різні предметні області.

У першому розділі роботи проведено огляд методів та практичних розробок, на основі яких реалізуються перетворювачі витрати газових середовищ. Також охарактеризовано переваги та недоліки застосування традиційних технологій цифрового опрацювання вимірювальних сигналів в таких пристроях. Здійснено аналіз теоретичних основ, методів та засобів реалізації обміну даними в комп'ютерних системах, який підтвердив ефективність застосування широкосмугових сигналів. Розглянуто методи опрацювання, що реалізуються на основі обчислювальних технологій, які використовуються в інформаційних системах ідентифікації та діагностування. Визначено перспективні напрямки розвитку методів формування та опрацювання цифрових сигналів, які ґрунтуються на ентропійному підході, сформульовано науково-технічну проблему, а також завдання, які необхідно вирішити.

У другому розділі роботи, на основі ряду досліджень особливостей формування інформаційно-вимірювальних сигналів, що генеруються потоком контрольованого середовища розроблено теоретичні основи нового методу опрацювання випадкових вимірювальних сигналів, який ґрунтується на використанні оцінок інформаційної ентропії фрагментів сигналу первинного перетворювача. Проведено дослідження запропонованого методу, за яким здійснено виділення інформативних смуг частотного спектру сигналу, встановлено інваріантність оцінок ентропії, як опосередкованого параметру витрати, до дрейфу нуля сенсора первинного перетворювача, розглянуто ефективність використання різних інформаційних мір при розрахунку ентропійних оцінок випадкових вимірювальних сигналів, а також розроблено ентропійну модель цифрової системи перетворення та опрацювання таких широкосмугових сигналів інформаційно-вимірювального каналу витрати газових середовищ.

У третьому розділі роботи розроблено теоретичні основи нового методу формування широкосмугових випадкових комунікаційних сигналів, в яких значення інформаційної ентропії маніпулюється бінарними символами вихідного повідомлення. Також вперше запропоновано реалізувати опрацювання згаданих сигналів шляхом статистичного оцінювання значень інформаційної ентропії відповідних його фрагментів. Проведено дослідження згаданих методів, за яким встановлено, що при обмеженій потужності, оцінки ентропії набувають максимальних значень при реалізаціях випадкового процесу з нормальним розподілом та рівномірною спектральною щільністю потужності. Проаналізовано ефективність маніпуляції з використанням інформаційної ентропії шумів комунікаційного каналу як джерела випадкових, статистично незалежних сигналів. Проведено оцінювання завадостійкості запропонованого методу в умовах дії завад характерних для провідникових каналів та радіоканалів обміну даними у промислових комп'ютерних системах.

У четвертому розділі роботи проведено дослідження, на основі яких розроблено теоретичні основи нового методу ідентифікації знаково-символьних об'єктів, представлених двомірними матрицями, за яким

побудова проєкцій інформативних ознак ґрунтується на використанні однієї чи кількох сумісно імовірнісних характеристик. Проведено дослідження запропонованого методу, згідно з яким підтверджено ефективність використання ентропії серед інших імовірнісних характеристик та обґрунтовано інваріантність оцінок інформаційної ентропії до інверсного представлення об'єктів ідентифікації. Проведено порівняльний аналіз ефективності запропонованого та кореляційного методів, за яким встановлено, що запропонований підхід забезпечує кращу адекватність результатів ідентифікації порівняно зі спрощеними кореляційними формулами та кореляційними формулами, які потребують реалізації громіздких обчислень.

У п'ятому розділі роботи розроблено метод опрацювання опрацюванні широкосмугових фрагментів акустичних реалізацій сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками, згідно з яким значення інформаційної ентропії їх послідовних фрагментів використовуються для побудови параметричних векторів за якими реалізується оцінювання можливих станів об'єкту діагностування. Проведено дослідження запропонованого методу, за результатами якого встановлено часткову інваріантність оцінок ентропії вектору інформативних ознак до апертури амплітуд діагностичного сигналу, а також підтверджено ефективність інформаційної ентропії порівняно з іншими імовірнісними характеристиками. Крім того, введено кількісну міру ефективності, як верхню межу флуктуації коефіцієнта взаємкореляції модульної функції, векторів інформативних ознак, що забезпечило покращення збіжності результатів діагностування.

У шостому розділі автором розроблено структуру, апаратне, алгоритмічне та програмне забезпечення опрацювання випадкових вимірювальних сигналів інформаційно-вимірювального каналу витрати газу комп'ютерної системи. Синтезовано структурне рішення спецпроцесора опрацювання випадкових широкосмугових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією, а також реалізовано відповідні структурні, схемотехнічні, алгоритмічні та програмні рішення цифрових засобів формування та опрацювання широкосмугових сигналів за згаданим методом на базі універсального однокристального мікрокомп'ютера. Розроблено структурне, алгоритмічне та програмне забезпечення комп'ютерної системи діагностування артикуляційного простору на основі представлення сигналів з низькою амплітудно-частотною інформативністю як векторних наборів оцінок інформаційної ентропії.

У додатках до дисертації представлено прикладні програми, необхідні для виконання наукових досліджень і для функціонування створеної комп'ютерної системи, наведені акти впровадження результатів роботи.

7. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи

За результатами наукових досліджень опубліковано 86 праць, з яких 46 статей (7 статей одно особисті), в тому числі 42 у фахових наукових

виданнях України, 8 з яких у виданнях, що реферуються наукометричними базами чи у закордонних виданнях, 11 патентів України на винахід та 29 тез доповідей у матеріалах конференцій, в тому числі міжнародних.

Дисертаційна робота є результатом тривалого, ґрунтовно виконаного наукового дослідження автора. Усі положення, що винесено на захист, отримано автором особисто, а з наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано тільки ті ідеї та положення, які запропоновані і розроблені автором.

8. Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, оскільки вона спрямована на розробку нових методів, відповідного математичного, алгоритмічного та програмно-апаратного забезпечення компонентів комп'ютерних систем, зокрема, первинних перетворювачів інформаційно-вимірювальних каналів витрати газу, цифрових компонентів засобів обміну даними, комп'ютерних систем діагностування та ідентифікації, що в сукупності дозволяє покращити характеристики таких систем шляхом залучення додаткового інформативного параметру сигналу такого, як інформаційної ентропії.

Результати та висновки дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, захищеної здобувачем, не включено до результатів, що виносяться на захист докторської дисертації.

9. Зауваження щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи

Мова викладення дисертаційної роботи ясна і чітка. Дисертант вільно володіє науково-технічною термінологією. Робота читається легко. Матеріал дисертації викладено послідовно і продумано, із чітким розумінням мети, задач та методів дослідження.

Проте, на наш погляд, подана до захисту дисертаційна робота та її автореферат мають деякі недоліки, зокрема:

- ◆ при опрацюванні випадкових вимірювальних сигналів в роботі не враховувався вплив шорсткості поверхні та умовного діаметру замірної ділянки і робочих параметрів потоку середовища на його статистичні характеристики;
- ◆ в роботі не передбачено розгляд питань пов'язаних з впливом виду розподілу амплітуд вимірювального сигналу, який можна частково змінювати шляхом модифікації конструкції завихрюючого елемента, на величину невизначеності контрольованого параметру;
- ◆ запропонований в дисертаційній роботі метод обміну даними на основі маніпульованої ентропії амплітуд випадкових сигналів може бути малостійким до впливу мультиплікативних завад, які мають місце в комунікаційних каналах комп'ютерних систем, проте дослідження їх впливу в дисертації не проводилось;

- ◆ проведений аналіз ефективності запропоновано методу ідентифікації ґрунтується на використанні рівномірного розподілу спотворень матриці представлення об'єкту, проте зустрічаються нерівномірні та фрагментарні спотворення, які не розглядаються в роботі;
- ◆ на мій погляд, в частині роботи, яка стосується методу діагностування недостатньо представлено опис використання різних інформаційних мір розрахунку ентропії та кореляційних функцій.

Автореферат дисертаційної роботи оформлено згідно діючих вимог. Його текст повністю розкриває сутність і зміст дисертації та коректно описує одержані наукові результати і висновки виконаної роботи.

10. Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам і загальні висновки

Незважаючи на зазначені недоліки, дисертаційна робота заслуговує на позитивну оцінку. Вона є завершеним науковим дослідженням.

За актуальністю, науковим рівнем досліджень та їх практичним впровадженням, наявністю необхідної кількості і об'єму публікацій результатів досліджень робота відповідає встановленим вимогам пп. 9, 10 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо докторських дисертацій, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор Мельничук Степан Іванович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальних технологій
Державного вищого навчального закладу
«Національний гірничий університет»



Корсун В.І.

Підпис д.т.н., проф. Корсуна В.І. засвідчую

Вчений секретар Вченої ради
Державного вищого навчального закладу
«Національний гірничий університет»

Данилова О.А.

9 березня 2016 року

