

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Мельничук Степан Іванович



УДК 004.31:681.325

**МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ
ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ З ПОЛПАРАМЕТРИЧНОЮ
ІНФОРМАЦІЙНОЮ ЕНТРОПІЄЮ**

05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Львів – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Тернопільському національному економічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Николайчук Ярослав Миколайович,
завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Корсун Валерій Іванович,
завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій Національного гірничого університету, м. Дніпропетровськ;

доктор технічних наук, доцент
Глухов Валерій Сергійович,
професор кафедри електронних обчислювальних машин Національного університету "Львівська політехніка", м. Львів;

доктор технічних наук, професор
Головко Володимир Адамович,
завідувач кафедри Інтелектуальних інформаційних технологій Брестського державного технічного університету, м. Брест, республіка Білорусь.

Захист відбудеться 25 березня 2016 р. о 14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.08 у Національному університеті "Львівська політехніка" (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий " 08 " лютого 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., проф.



Я. Т. Луцик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної проблеми розвитку теорії та впровадженню програмно-апаратних засобів на основі ентропійного підходу до створення нових ефективних технологій опрацювання сигналів у комп'ютерних системах, зокрема компонентах первинного перетворення інформації, цифрових компонентах реалізації обміну даними а також ідентифікації та діагностування у інформаційно-вимірювальних системах.

Актуальність теми дослідження особливостей інтенсивного впровадження цифрових технологій при реалізації компонентів первинного перетворення форми інформації в комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах (ІВС), зокрема еталонних, зумовлює необхідність пошуку нових рішень на теоретичному, структурному, методичному, метрологічному, апаратному та алгоритмічному рівнях для покращення їх надійності, метрологічних характеристик та експлуатаційної ефективності. В сучасних умовах дефіциту енергоносіїв важливою прикладною проблемою є вдосконалення контролю витрати енергоносіїв, зокрема природного газу. Традиційно перетворювачі форми інформації в ІВС споживання енергоносіїв ґрунтуються на використанні впливу (механічного, температурного, акустичного тощо) на вимірювальне середовище, що зумовлює механічне зношення рухомих конструктивних елементів, створення додаткових опорів в системах транспортування, поступове зростання невизначеності вимірювання тощо. Найширше застосовуються технології первинного перетворення інформації на основі методу змінного перепаду тиску (для великих витрат) та рухомого механічного мірного елемента (для малих витрат). Слід зазначити, що згадані технології реалізуються такими виробниками як Rosemount, Krohne, ABB, SICK/МАІНАК, ДП "Арсенал", НВФ "Темпо" та ін., проте мають низку недоліків, зокрема вузький вимірювальний діапазон та високі вимоги щодо якості інструментального виготовлення. Перетворювачі механічного типу характеризуються неконтрольованими перетоками середовища, які зумовлені наявністю допусків при виготовленні та зношенням вузлів, що приводить до втрати точності. Використання альтернативних додаткових джерел вимірювальної інформації, зокрема, оцінок інформаційної ентропії випадкових коливань, що породжуються контрольованим середовищем, в тому числі і при взаємодії із формувачами випадкових сигналів, дозволяє забезпечити ряд суттєвих переваг, зокрема: інваріантність до дрейфу нуля сенсора перетворювача, зменшення впливу сторонніх шумів на вимірювальні сигнали, розширення діапазону, зменшення невизначеності вимірювальних даних та створення надійних інформаційно-вимірювальних систем.

Реалізація сучасних цифрових компонентів комп'ютерних систем в області контролю, вимірювання, ідентифікації та діагностування ґрунтується на використанні інформаційно-вимірювальних каналів, які забезпечують перетворення аналогових неелектричних величин у відповідні електричні: амплітуда, частота, фаза тощо, з подальшим їх опрацюванням та інтерпретацією. Виділення інформативної частини сигналу з потоку даних традиційно реалізується на основі методів статистичного, спектрального, кореляційного та кластерного аналізу за згаданими характеристиками чи їх комбінаціями. Найефективнішим з відомих вважають кореляційні, проте такий підхід потребує забезпечення спеціальних форм сигналів оскільки кореляційні властивості останніх є вирішальними при опрацюванні та інтерпретації. Для сигналів, які не володіють прийнятними кореляційними властивостями згаданий підхід не

ефективний. Найпоширеніші реалізації комп'ютерних систем контролю, ідентифікації та діагностування, при опрацюванні сигналів, ґрунтуються на аналізі амплітудних, частотних, фазових і т.п. характеристик сигналів досліджуваних процесів, що потребує значних обчислювальних затрат і не дозволяє оцінити диференційні характеристики сигналу, що не завжди прийнятно для короткотривалих ширококутових процесів. Додаткове використання нових параметрів інформаційного сигналу, зокрема, оцінок інформаційної ентропії відповідних його фрагментів, дозволяє отримати ряд суттєвих переваг, зокрема: низька залежність апертури оцінок ентропії від потужності сигналу, імовірнісна інформативність ширококутових реалізацій, спрощення апаратного і програмного забезпечення, а також дозволяє реалізувати надійні інформаційно-вимірювальні комп'ютерні системи діагностування та контролю.

Сучасні досягнення в технологіях обміну даними комп'ютерних систем, зростання кількості комунікаційних каналів зумовило виникнення нового покоління цифрових засобів, реалізованих на основі опрацювання ширококутових сигналів, що підтверджується значною кількістю публікацій. Традиційно забезпечення прийнятної достовірності обміну даними в комунікаційних каналах ґрунтується на використанні ширококутових сигналів з великою базою (функція тривалості та ширини спектру сигналу), найширше застосовуються засоби реалізовані на основі дискретних псевдовипадкових послідовностей та кореляційного опрацювання сигналів. Згадані технології реалізуються такими виробниками як Zilog, Zarlink, AMD, Intersil та ін., проте мають ряд недоліків, зокрема необхідність застосування складних апаратних і алгоритмічних методів формування псевдовипадкових послідовностей, потребою зберігання еталонів сигналів, використанням громіздких алгоритмів кореляційного опрацювання, а також переважним використанням неоптимальних методів опрацювання гармонійних сигналів-носіїв. При цьому, як маніпульовані ознаки символів повідомлень, традиційно використовують амплітуду, частоту, фазу або їх комбінації. Застосування альтернативних підходів до формування і опрацювання ширококутових сигналів в каналах обміну даними комп'ютерних систем, зокрема представлення символів повідомлення значеннями інформаційної ентропії випадкових сигналів (при формуванні і статистичному оцінюванні), створює низку переваг, зокрема: ефективніше використання частотної смуги каналу даних, спрощення апаратного і програмного забезпечення, забезпечення належної завадостійкості за малих відношень сигнал/завада а також дозволяє реалізувати надійні, малогабаритні комунікаційні компоненти в комп'ютерних системах.

Отже, наукова проблема розробки і дослідження нового імовірнісного, зокрема ентропійного, підходу до питань реалізації ефективних технологій формування, представлення та опрацювання цифрових сигналів, спрямованих на підвищення надійності, ефективності та спрощення апаратного і програмного забезпечення у інформаційно-вимірювальних комп'ютерних системах орієнтованих на різні предметні області є актуальною.

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

Розроблені в роботі методи та засоби формування і опрацювання сигналів, а також їх використання при реалізації компонентів інформаційно-вимірювальних комп'ютерних систем і мереж пов'язані з науково-дослідними роботами, що здійснювались 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:

ІФНТУНГ – Виконання держбюджетної тематики кафедри інформаційно-вимірювальної техніки: "Наукові основи розробки методів, систем і нормативної бази для вимірювання витрати та контролю обладнання і технологічних параметрів в нафтогазовій галузі К1/2009 РК 0109U008878" (2009-2014); "Методологічні засади побудови систем управління, діагностування та енергозберігаючих систем частотного управління електроприводом для об'єктів нафтогазового комплексу НДР 0112U006554" (2013-2015); НДП ВАТ "Укрнафта" – НД і ДКР № 711466 "Розробка та обґрунтування сучасних технологічних схем збору та підготовки продукції на Бориславському родовищі з метою зниження рівня загазованості (01.07.2006 – 31.12.2009)"; НДП ПАТ "Укрнафта" – ДКР № 221501 "Проектування інформаційних систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій на об'єктах Качанівського ГПЗ" (01.2010-06.2010); НДП ПАТ "Укрнафта" – НД і ДКР № 611591А "Вивчення та аналіз систем обліку нафти та газу на автоматизованих замірних установках НГВУ "Надвірнанафтогаз" (08.2009-12.2009); ІФДЦСМС – НД-ДКР "Забезпечення відтворення та зберігання одиниць об'єму та об'ємної витрати газу, що відтворюються державним еталоном", реєстраційний номер КПИВ 5361050, 1-205-09/03; ТНЕУ – № 0112U008458 "Розробка теоретичних засад методів формування та цифрового опрацювання даних в розподілених СКС". Участь автора полягала в розробці методу отримання та опрацювання вимірювальної інформації про контрольований параметр на основі випадкових сигналів зі змінною інформаційною ентропією, методу обміну даними, що ґрунтується на використанні випадкових широкосмугових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією, методів ідентифікації та діагностування об'єктів, що ґрунтуються на використанні їх ентропійних проекцій та представлень.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесів опрацювання сигналів у інформаційно-вимірювальних комп'ютерних системах, зокрема у компонентах первинного перетворення, використання каналів обміну даними у комунікаційних компонентах, засобах ідентифікації та діагностування на основі розвитку теорії, ефективних технологій, методів та засобів опрацювання цифрових сигналів з поліпараметричною інформаційною ентропією.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз рівня розробки та впровадження комп'ютерних систем та їх компонентів для контролю витрати газу в повірочних еталонних установках, огляд особливостей реалізації первинних перетворювачів витрати та їх основних характеристик, стану розвитку сучасних методів і засобів реалізації комунікацій та методів опрацювання діагностичних сигналів у інформаційно-вимірювальних комп'ютерних системах;

- розробити метод опрацювання сигналів первинного перетворювача витрати газових середовищ на основі використання випадкових сигналів зі змінною інформаційною ентропією;

- дослідити смуги частотного спектру з метою виявлення максимальної залежності зміни ентропійних характеристик інформаційно-вимірювального сигналу перетворювача та оцінки впливу дрейфу нуля амплітуди вихідних сигналів для запропонованого методу;

– розробити метод формування та опрацювання ширококутових сигналів у комунікаційних засобах комп'ютерних систем на основі використання випадкових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією;

– дослідити характеристики завадостійкості та ефективності використання смуги частотного спектру ширококутових сигналів, що формуються на основі традиційних та запропонованого методів;

– розробити методи ідентифікації та діагностування об'єктів на основі опрацювання імовірнісних проекції та представлень, що формуються шляхом оцінювання значень інформаційної ентропії відповідних фрагментів їх характеристик;

– дослідити ефективність кореляційного опрацювання ентропійних проекцій та представлень сигналів, що формуються на основі варіативної інформаційної ентропії їх фрагментів;

– реалізувати програмно-апаратні імплементації структурних, алгоритмічних, апаратно-програмних та схемотехнічних рішень комп'ютерної інформаційно-вимірювальної системи витрати на основі первинного перетворювача, з функцією контролю несанкціонованих впливів, засобів реалізації обміну даними каналного рівня, а також цифрової системи ідентифікації та діагностування на основі розроблених методів.

Об'єкт дослідження: процеси формування, опрацювання і передавання ширококутових вимірювальних та комунікаційних сигналів з поліпараметричною ентропією в інформаційно-вимірювальних комп'ютерних системах.

Предмет дослідження: методи та засоби формування і цифрового опрацювання ширококутових випадкових сигналів зі змінною, маніпульованою та варіативною інформаційною ентропією.

Методи дослідження: в ході розв'язання поставленого комплексу задач, вирішуваної у дисертаційній роботі проблеми, використовувались методи теорії інформації, теорії імовірностей, теорії сигналів та теорії вимірювань, на основі котрих проводилось обґрунтування та вибір найбільш ефективних принципів та методів формування інформаційних ширококутових сигналів, джерелом яких є фізичні процеси; методи теорії спектрального, кореляційного та імовірнісного аналізу, що лягли в основу маніпуляції ентропією сигналів при реалізації методів комунікацій; теорія та методи ідентифікації і діагностування, методи комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування та прикладного програмування, на основі яких реалізовано відповідні схемотехнічні та програмні рішення систем цифрового опрацювання сигналів з поліпараметричною інформаційною ентропією.

Наукова новизна отриманих результатів У результаті проведення теоретичних та експериментальних досліджень а також їх практичного впровадження розв'язано важливу науково-технічну проблему підвищення ефективності формування, передавання та опрацювання ширококутових випадкових сигналів на основі ентропійного підходу шляхом розробки методології побудови апаратно-програмно засобів інформаційно-вимірювальних систем, компонентів реалізації комунікацій, комп'ютерних системах ідентифікації та діагностування. При цьому отримано такі наукові результати:

– вперше запропоновано метод формування та опрацювання ширококутових вимірювальних сигналів зі змінною інформаційною ентропією, що зумовлені стохастичними пульсаціями тиску потоку газового середовища, в якому, на відміну від

відомих методів, для визначення витрати використано імовірнісні характеристики, що дозволило зменшити вплив неінформативних складових випадкових сигналів середовища 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 для збільшення бази сигналу 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 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;

– удосконалено обчислювальний проекційний метод ідентифікації об'єктів, за яким побудову проекцій 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.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати стали основою для побудови високоефективних компонентів комп'ютерних систем, зокрема цифрових взірцевих первинних перетворювачів інформаційно-вимірювальних каналів витрати газу, компонентів засобів комунікацій, комп'ютерних систем діагностування та ідентифікації. Практичну цінність мають такі результати:

– розроблено первинний перетворювач витрати газу за оцінками інформаційної ентропії шумів потоку, відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення, що дозволило забезпечити визначення витрати з відносною стандартною невизначеністю, яка не перевищує 0.5% а також у ≈ 2.1 рази зменшити час формування даних, на основі якого реалізовано інформаційно-вимірювальний канал витрати на еталонній дзвоновій установці.

– розроблено структурні та схемотехнічні рішення цифрових пристроїв формування та опрацювання широкосмугових випадкових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією на базі універсального мікроконтролера, синтезовано структуру спецпроцесора формування та опрацювання таких сигналів, що дозволило збільшити швидкість опрацювання сигналів у 8.1 раз порівняно з оптимальними кореляційними методами і покращити завадостійкість не менше як на 2дБ при ймовірності помилок 10^{-6} ;

– розроблено апаратне, алгоритмічне та програмне забезпечення засобів обміну даними низових комп'ютерних систем контролю та обліку енергоносіїв і матеріальних ресурсів, на рівні обміну даними з віддаленими первинними перетворювачами, яке при базі сигналу 17 дБ і відношенні $S/N = -17$ дБ, дозволяє отримати показник ефективності -1.6 дБ., що практично не відрізняється від такого ж показника інших оптимальних кореляційних методів формування та опрацювання псевдовипадкових широкосмугових сигналів канального рівня, які характеризуються значно більшою алгоритмічною та обчислювальною складністю;

– розроблено алгоритмічні та програмні рішення комп'ютерної системи діагностування артикуляційного простору при постановці знімних конструкцій на основі представлення сигналів з низькою амплітудно-частотною інформативністю у вигляді векторних наборів оцінок інформаційної ентропії, що дозволило вперше використати верхню межу флуктуації модульної взаємкореляційної функції, як кількісний критерій формування висновку при діагностуванні та дозволило забезпечити збіжність у 82% результатів опрацювання діагностичних сигналів.

Впровадження результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи знайшли застосування: в науково-дослідних та дослідно-конструкторських роботах проектування каналів обміну даними розподілених комп'ютерних систем та 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. Крім того теоретичні, методологічні та технічні результати досліджень дисертаційної роботи, використовуються у навчальному процесі при викладанні курсів "Комп'ютерні системи" та "Мережні інформаційні технології", які читаються згідно освітньо-професійної програми напрямку "Комп'ютерна інженерія" у ПВНЗ "ГА", ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ), ТНЕУ (м. Тернопіль).

Особистий внесок здобувача. Усі положення, які виносяться на захист, отримані автором особисто. В публікаціях, написаних у співавторстві, автору належить: [1-6, 17, 19, 20, 24, 26, 29, 38, 40, 41, 53, 54, 59, 64, 68, 71, 72, 75, 79, 82, 84] – сформульовано ідею і визначено шляхи її розв'язання; [34, 35, 37, 39, 45, 57, 60] – створення методу формування та опрацювання широкосмугових випадкових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією; [8-11, 30, 47, 62, 65, 70, 78] – створення методу формування та опрацювання вимірювальних сигналів зі змінною інформаційною ентропією; [16, 23, 50, 73, 76, 85] – розроблення методу ідентифікації об'єктів на основі оцінювання інформаційної ентропії фрагментів бінарних матриць їх представлень; [7, 43, 61, 63, 67, 77, 80] – розроблення методу опрацювання діагностичних сигналів на основі імовірнісних представлень послідовних фрагментів

їх амплітуд; [12-14, 28, 33, 36, 44, 52, 56, 74] – організація методів досліджень, розрахунків та проведення експериментів; [15, 18, 21, 22, 25, 27, 31, 32, 42, 46, 48, 49, 51, 55, 58, 66, 69, 81, 83, 86] – розроблено теоретичні основи та отримано математичні співвідношення, здійснено розробку структурних і алгоритмічних рішень.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати досліджень і положень дисертаційної роботи доповідались та отримали позитивні оцінки на таких конференціях: науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи" (м. Київ, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010); Proceedings of the International conference TCSET "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science" (Lviv-Slavsko, 2004, 2006); IV міжнародна науково-технічна конференція "Метрологія та вимірювальна техніка" (м. Харків, 2004); всеукраїнська науково-технічна конференція "Вимірювання витрати та кількості газу" (м. Івано-Франківськ, 2003, 2005, 2011); XIII міжнародна конференція з автоматичного управління "Автоматика – 2006" (м. Вінниця, 2006); XXIV міжнародної міжвузівської школи-семінару "Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі" (м. Івано-Франківськ, 2007); XV міжнародної конференції з автоматичного управління "Автоматика – 2008" (м. Одеса, 2008); проблемно-наукова міжгалузева конференція "Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання" (м. Бучач, 2009, 2012); VI міжнародна науково-практична конференція "Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем" (м. Дніпропетровськ, 2008, 2013); XVIII міжнародна наукова конференція студентів і молодих учених "Наука і вища освіта" (м. Запоріжжя, 2010); XI міжнародна конференція "Контроль і управління в складних системах КУСС" (м.Вінниця, 2012, 2014); міжнародна науково-практична конференція "Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки ПКТ" (м. Чернівці, 2014, 2015).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 86 робіт, з яких 46 статей (з них 7 одноосібні), в т. ч. 42 у фахових наукових виданнях України в т. ч. 8, що реферуються наукометричними базами: SCOPUS, Copernicus, РИНЦ чи закордонних виданнях, 11 патентів України на винахід (з них 3 одноосібні), а також 29 тез доповідей у матеріалах конференцій, в т. ч. міжнародних.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень, вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 457 сторінок, з яких 363 сторінки основного тексту, що містить 190 рисунків та 27 таблиць. Список використаних джерел містить 342 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, показано зв'язок обраного напрямку з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та основні задачі досліджень, подано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено дані про апробацію, публікації за темою роботи та використання результатів дослідження.

У першому розділі проведено аналіз тенденцій розвитку і впровадження комп'ютерних інформаційно-вимірювальних систем, первинних перетворювачів як джерел інформації про контрольований параметр, проведено огляд методів, що покладено в основу реалізації перетворювачів витрати газових середовищ. Розглянуто

найпоширеніші практичні методології, охарактеризовано переваги та недоліки застосування традиційних методів опрацювання сигналів при реалізації перетворювачів витрати газу. Здійснено аналіз теоретичних основ, методів та засобів реалізації комунікацій, на основі якого підтверджено ефективність застосування широкосмугових сигналів, що забезпечують стабільну роботу за низьких відношень потужностей сигнал/завада, високу заводо захищеність, надійну роботу в умовах багатопроменевого поширення сигналів, електромагнітну сумісність з наявними вузькосмуговими системами тощо. Проведено аналіз методів опрацювання в задачах ідентифікації об'єктів, які реалізуються на основі обчислювальних технологій. Розглянуто методи, які ґрунтуються на розкладі Фур'є, фрактального опрацювання та використання проєкцій, відображень зображення в сигнал. Крім того проаналізовано методи та технології опрацювання сигналів, які застосовуються при вирішенні задач діагностування для виділення інформативних складових широкосмугових акустичних реалізацій. В результаті показано, що системи, які ґрунтуються на традиційних методах характеризуються значною складністю алгоритмічної та програмної реалізації. Окреслено перспективні напрямки розвитку методів формування та опрацювання цифрових сигналів на основі ентропійного підходу, сформульовано науково-технічну проблему та завдання які необхідно вирішити.

В другому розділі роботи проведено ряд досліджень на основі яких здійснено розробку теоретичних основ нового методу опрацювання випадкових вимірювальних сигналів, зумовлених завихренням потоку контрольованого середовища, суть якого полягає у використанні інформаційної ентропії сигналу первинного перетворювача як опосередкованого параметру величини витрати середовища, рис.1.

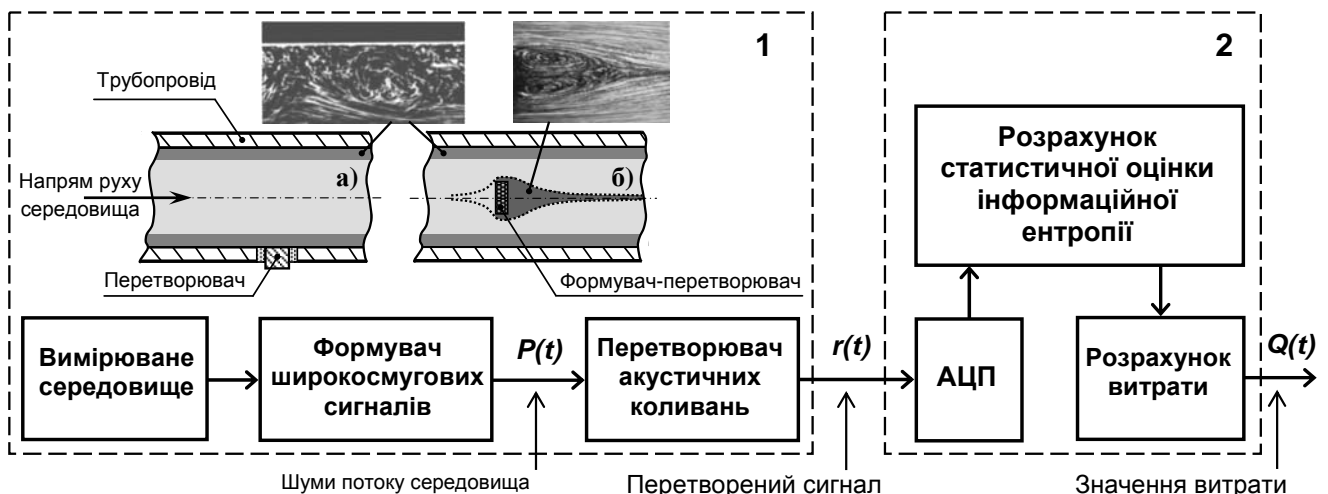


Рис. 1 – Формування, перетворення та опрацювання сигналів зі змінною інформаційною ентропією: 1 – джерела формування сигналів перетворювача на замірній ділянці: а) без формувача, б) з формувачем; 2 – цифрового засобу визначення витрати за оцінками інформаційної ентропії сигналу перетворювача

Джерелом досліджуваного інформаційного сигналу є пульсації тиску газового потоку, які мають стохастичний характер. Коректність методу аналізу таких випадкових процесів, а також інтерпретація результатів значною мірою залежать від основних властивостей процесу, зокрема стаціонарність та нормальність. З врахуванням того, що емпіричні дослідження вважають джерелом об'єктивної інформації про характеристику процесу здійснено багатократні експериментальні

дослідження реалізацій вимірюваного сигналу за різних режимів протікання контрольованого середовища. Дослідження проводились на базі стаціонарної еталонної дзвонової установки ІВФ “Темпо” (м. Івано-Франківськ), границі основної відносної похибки $\pm 0.13\%$, діаметру трубопроводу 30 мм, стабілізованої температури $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, робочого тиску 114.0 мм водяного стовпа, середовище – повітря.

Оцінка відповідності до нормального закону сигналу здійснена за критерієм χ^2 (29.869 для $2.0\text{ м}^3/\text{год}$; 33.355 для $6.5\text{ м}^3/\text{год}$; 56.104 для $11.5\text{ м}^3/\text{год}$) $< \chi^2(60; 0,05)$, тобто, гіпотеза про те, що інформаційний сигнал в досліджуваному діапазоні витрат відповідає нормальному закону розподілу приймається з рівнем значимості 0,95. Для стаціонарного процесу автокореляційна функція випадкового вимірюваного сигналу є функцією зсуву між аргументами. Аналіз амплітуд шумових сигналів, для усталеного значення витрати при багатократному повторенні експерименту, показав відсутність тренду середніх значень, отже процес формування випадкових вимірювальних сигналів піддається стаціонаризації за рахунок динамічного усереднення в часі статистичних оцінок, що дозволяє розглядати його як стаціонарний.

Згідно із запропонованим підходом, опрацювання випадкових інформаційних сигналів здійснюється так, що значення їх статистичних оцінок, зокрема інформаційної ентропії $\hat{H}_{S(n)}$ ставиться у відповідність до значення поточної витрати завихреного потоку вимірювального середовища, рис.1. В АЦП формуються послідовні цифрові інформаційні пакети на основі одиничних перетворень амплітуди сигналу S_j . Обчислення оцінок ентропії здійснюється за формулою К. Шеннона:

$$\hat{H}_{sh S(n)} = -\sum_{j=1}^m h(S_j) \times \log_2(h(S_j)), \quad (1)$$

де $h(S_j) = \frac{n_j}{n}$ – відносна частота появи стану S_j , $j = 1, 2, \dots, m$;

n_j – кількість значень вимірювального сигналу, що прийняв стан S_j .

Фрагмент сигналу $S(n)$ з відповідно розрахованими оцінками ентропії $\hat{H}_{S(n)}$ його послідовних фрагментів подано на рис. 2а.

В ході досліджень проведено розробку інформаційних та програмних моделей цифрової систем перетворення вимірювальних даних на основі емпіричних залежностей між витратою Q і оцінками енергії \hat{E}_s , дисперсії \hat{D}_x та інформаційної ентропії \hat{H} випадкових сигналів, графічні представлення ентропійної моделі за відсутності та наявності формувача ширококутових сигналів, подано на рис.2б.

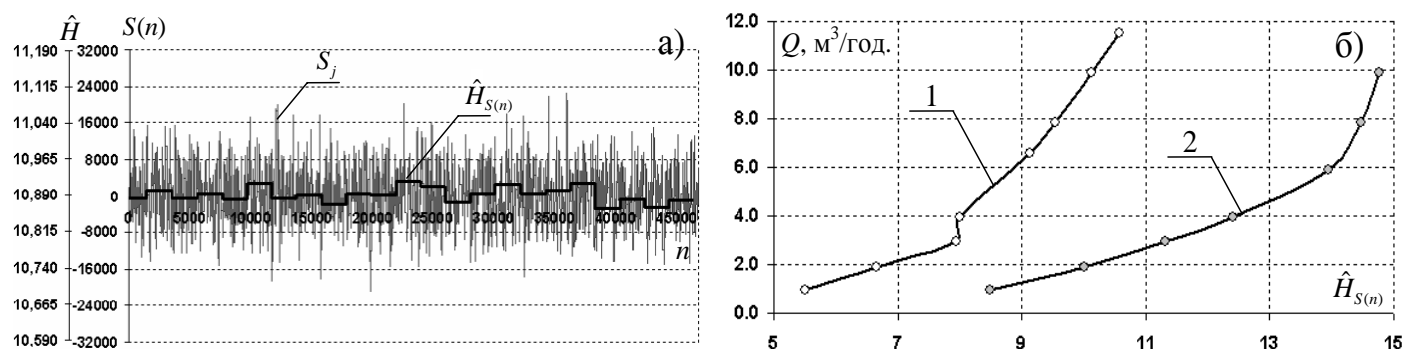


Рис. 2 – Графіки а) інформаційний сигнал $S(n)$ з оцінками ентропії його послідовних фрагментів $\hat{H}_{S(n)}$ для витрати $5.87\text{ м}^3/\text{год}$; б) залежність Q від $\hat{H}_{S(n)}$ за 1 - відсутності та 2 - наявності формувача ширококутових сигналів

За рахунок введення в потік вихороутворюючого елементу, в якості формувача широкосмугових сигналів, отримано збільшення їх потужності з незначними змінами частотного спектру в точці спостереження ≈ 13 dB (в 20 разів), порівняно з шумами, що генеруються за відсутності формувача. За результатами аналізу розсіювання вимірювальних значень відносно математичного сподівання рис.3а, використано середній квадратичний відхил значень отриманих на основі реалізованих моделей, можна зробити попередній висновок, що в якості джерела даних про контрольований параметр для реалізації інформаційно-вимірювальної системи доцільно використати інформаційну ентропію, яка забезпечує найкращу адекватність при компактному описі, а також характеризується найменшим розсіюванням реалізацій в порівнянні з іншими моделями.

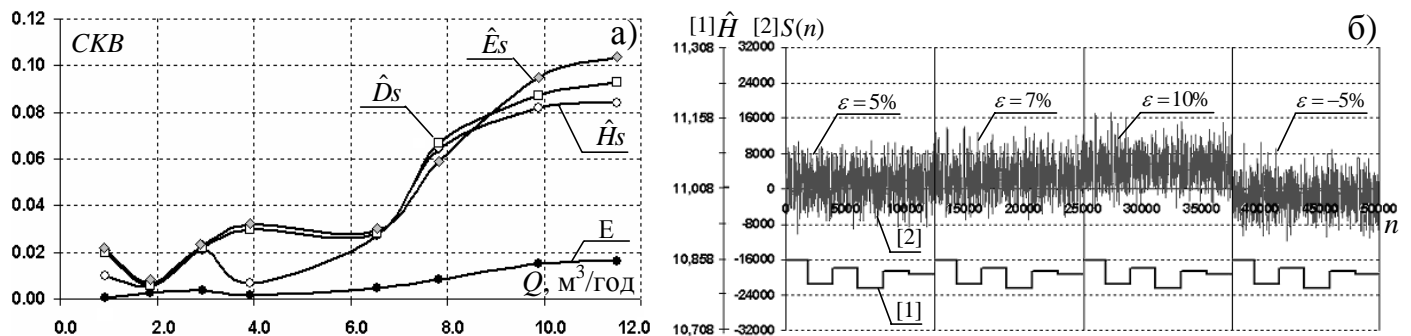


Рис. 3 – Графіки а) СКВ вимірювальних даних еталону - E , енергетичної, дисперсійної та ентропійної моделей; б) моделювання впливу дрейфу нуля напруги перетворювача: [2] – зміщення вимірювального сигналу $S(n)$ на величину ε ; [1] – оцінки ентропії модельованих зміщень для витрати середовища 5.87 м³/год

Оскільки первинні перетворювачі здатні змінювати свої характеристики під впливом фізико-хімічних процесів, які зумовлюють спотворення параметрів сенсора і практично не залежать від режиму переміщення вимірювального середовища та його характеристик, то сигнал перетворювача можна розглядати як деяку сукупність окремих статистично незалежних джерел інформації. Таким чином, основна складова вимірювального сигналу $\hat{H}_{S(n)}$ - це випадкові процеси, зумовлені взаємодією потоку з формувачем, а додаткова $\hat{H}_{D(t)}$ - поступова зміна в часі характеристик сенсора перетворювача з множиною можливих станів $D = \{d_1, d_2, \dots, d_l\}$. Однак кількість станів, зумовлених зміною $\hat{H}_{D(t)}$ в ході одного вимірювання, фактично зводиться до одного, в результаті чого $\hat{H}(D) = -\sum_i 1 \log 1 = 0$, отже $\hat{H}(S, D) = \hat{H}(S) + \hat{H}(D) = \hat{H}(S) + 0 = \hat{H}(S)$. Для перевірки отриманого результату проведено моделювання впливу дрейфу нуля напруги перетворювача на величини $\varepsilon = +5, +7, +10, -5$ %, рис.3б, в результатів підтверджено, що запропонований підхід опрацювання вимірювальних сигналів є нечутливим до дрейфу нуля амплітуди перетворювача.

На основі ряду експериментальних досліджень проаналізовано частотні спектри випадкових сигналів, з урахуванням накладання діапазонів для $Mx_{\hat{H}_{S(n)}}$ та $СКВ_{\hat{H}_{S(n)}}$. Встановлено інформативні смуги 160-1600, $3200 \pm 0.5\%$, $16000 \pm 0.5\%$ Гц вимірювальних шумових сигналів, які характеризуються максимальною залежністю зміни ентропійних

характеристик від величини витрати, тобто: $Mx_{\hat{H}_{S(n)}}$ змінюється пропорційно до зміни величини витрати, рис. 4 а, зона I (31-1600 Гц, $3200 \pm 0.5\%$ Гц, $16000 \pm 0.5\%$ Гц); $СКВ_{\hat{H}_{S(n)}}$ з найменшими значеннями, рис. 4 б, зона I (0.16-20 КГц.).

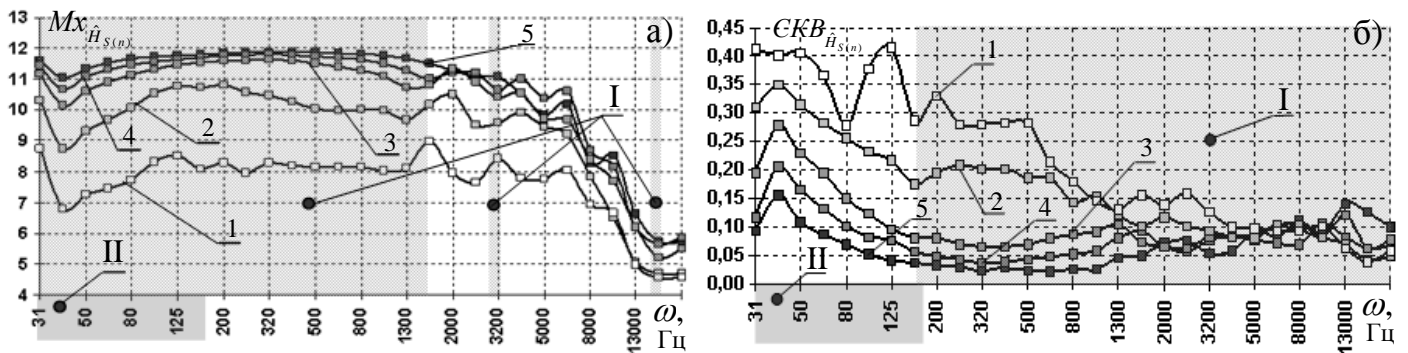


Рис. 4 – Характеристики: а) $Mx_{\hat{H}_{S(n)}}$; б) $СКВ_{\hat{H}_{S(n)}}$ для витрат: 1 – 1.87 м³/год, 2 – 3.97 м³/год, 3 – 5.87 м³/год, 4 – 7.84 м³/год, 5 – 9.89 м³/год після фільтрації з коефіцієнтом підсилення 10 dB для вибірки $n = 4096$ відліків

Для випадку реалізацій вихрових перетворювачів витрати, для досліджуваних умов традиційними методами, використана частотна смуга 16.7-172.7 Гц, суттєво менша порівняно із запропонованим методом, див. рис. 5, зона II. Обмеження смуги сигналу у перетворювачах, які базуються на опрацюванні амплітуди, є виправдано, так як зміна витрати приводить до пропорційної зміни енергії. Однак згадана смуга частот характеризується найбільшим $СКВ$ оцінок ентропії, отже її використання не є такою ефективною для запропонованого методу. Обмеження інформаційних частотних смуг забезпечує зменшення відносної стандартної невизначеності вимірювання приблизно на 32 % порівняно з сигналами з необмеженим спектром.

Проведено дослідження ефективності використання різних інформаційних мір для розрахунку оцінок інформаційної ентропії за критерієм відносної стандартної невизначеності результатів опрацювання сигналів перетворювача, встановлено, що мінімальної невизначеності результатів можна досягти при застосуванні формул К. Шеннона та Р. Хартлі. Реалізовано інформаційно-вимірювальний канал витрати газу, на основі стаціонарної еталонної дзвонивої установки ІВФ “Темпо”, відносна стандартна невизначеність якого не перевищує 0.5%.

В третьому розділі роботи здійснено розробку теоретичних основ, проведено ряд досліджень і вперше запропоновано новий метод формування широкосмугових випадкових сигналів, в яких значення інформаційної ентропії сформованого фрагменту сигналу маніпулюється в залежності від бінарних символів вихідного повідомлення. Опрацювання згаданих сигналів ґрунтується на статистичному оцінюванні інформаційної ентропії фрагментів, що представляють символічний інтервал, сигналу-носія (не символів бінарного повідомлення), тобто ентропія представляє параметр маніпуляційної ознаки бінарного символу інформаційного повідомлення, рис.5.

Проведено дослідження коефіцієнту ефективності використання смуги частот широкосмугових сигналів, що формуються на основі традиційних та розробленого методів $K_{ef.вик} = E_x / E_{max}$, де E_{max} – максимально можлива енергія сигналу, в разі рівномірної спектральної щільності, E_x – енергія досліджуваного сигналу $x(t)$.

Встановлено, що коефіцієнт ефективності використання смуги частот розробленого методу, який складає 0.81, що перевищує значення (найкраще 0.7) для традиційних методів формування широкосмугових сигналів.

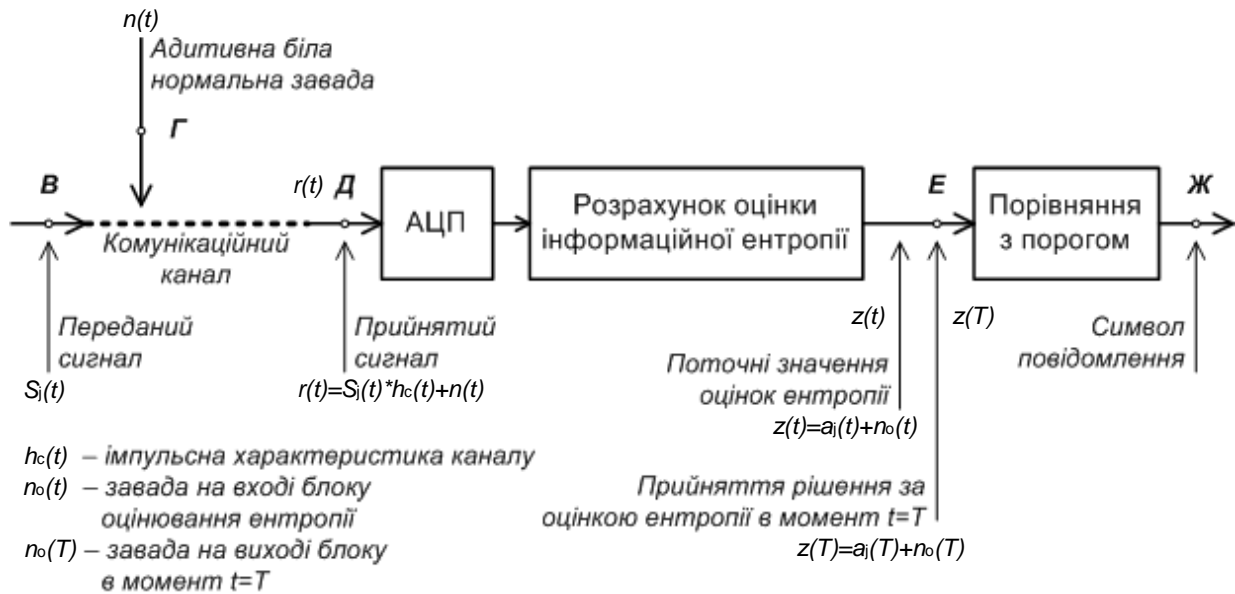


Рис. 5. Опрацювання сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією

Здійснено дослідження завадостійкості при застосуванні у якості маніпульованих ознак таких імовірнісних характеристик як: дисперсія, середній квадратичний відхил, центральні моменти 3, 4, 5, 6 і 7-го порядків, а також ентропія розподілу в умовах, коли сигнал $s_1(t)$, що представляє одиничне значення бінарного символу є реалізацією випадкового процесу з розподілом ймовірностей амплітуд близьким до нормального, рівномірною спектральною щільністю і відповідним сталим рівнем ентропії, а сигнал $s_2(t)$, що представляє нульове значення бінарного символу, є реалізацією паузи з нульовою ентропією.

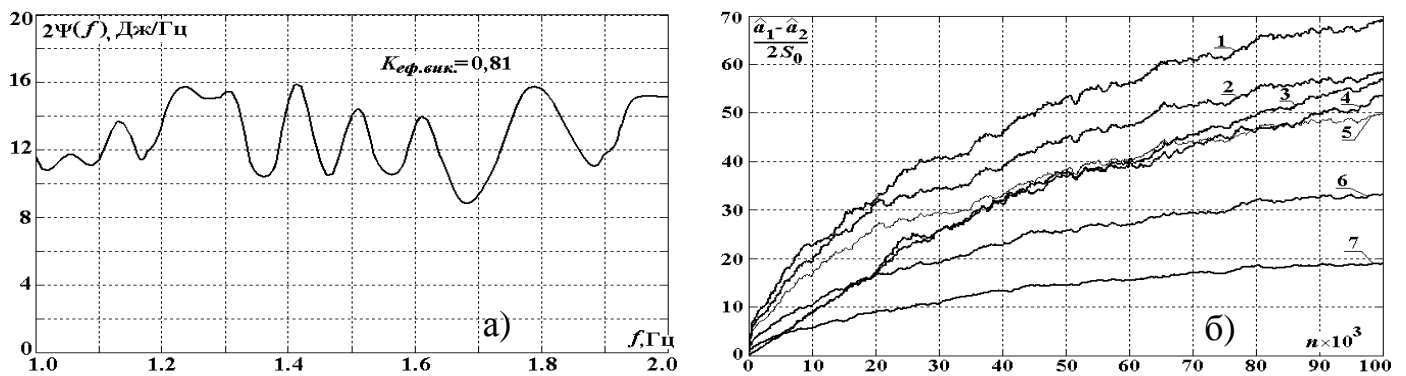


Рис. 6 а) Спектральна щільність сигналів, отриманих згідно розробленого методу, б) Залежність відношення $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$ від розміру фрагменту сигналу-носія n в межах до 10^5 відліків ($S/N = -3\text{дБ}$): 1 – ентропія обчислена за дисперсією, 2 – СКВ, 3 – ентропія за Шенноном, 4 – ентропія за Хартлі, 5 – дисперсія, 6 – центральний момент 4-го порядку, 7 – центральний момент 6-го порядку

Опрацювання фрагментів сигналів-носіїв з маніпульованою інформаційною ентропією проводилось з використанням формул Шеннона та Хартлі, також оцінювалась диференціальна ентропія за дисперсією для неперервних сигналів з нормальним розподілом. За основний критерій завадостійкості обрано $\hat{K} = (\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$

(рис. 6б), де \hat{a}_1 – оцінка значення однієї сигнальної компоненти (математичного сподівання значення в точці прийняття рішень, для розробленого методу – точка Е на рис. 5, при опрацюванні $s_1(t)$), \hat{a}_2 – оцінка значення другої сигнальної компоненти, s_0 – оцінка СКВ завади в точці прийняття рішень.

Встановлено, що найефективнішою характеристикою серед розглянутих, за обраним критерієм завадостійкості, є інформаційна ентропія, зокрема розрахована через $\sigma^2_{r(t)}$, сигналу-носія $r(t)$. Оскільки формула Шеннона оцінює сигнал за імовірнісною ознакою, це дозволяє припустити, що розрядність аналого-цифрового перетворювача, який реалізує дискретизацію аналогових сигналів каналного рівня буде безпосередньо впливати на ефективність їх подальшого опрацювання. Отже зменшення розрядності АЦП зумовить зменшення СКВ оцінок ентропії фрагментів сигналу-носія $2s_0$ оскільки при зменшенні розрядності розширюються межі інтервалів, в які може потрапляти його дискретизоване значення r_i , що покращує ефективність опрацювання за згаданим критерієм. Проте зменшення кількості можливих станів приводить до зменшення максимально можливого значення оцінки ентропії фрагменту, тобто до зменшення кодової відстані між сигнальними компонентами $\hat{a}_1 - \hat{a}_2$, що в свою чергу погіршує ефективність. Результати імітаційного моделювання впливу кількості станів (розрядності АЦП R) для фрагментів розмірністю n елементів при обчисленні ентропійних оцінок за формулою Шеннона подано на рис.7а. Таким чином за обраним критерієм \hat{K} ефективність опрацювання широкосмугових випадкових сигналів при застосуванні формули Шеннона для АЦП меншої розрядності, зокрема 7-ми розрядного, практично така ж як і при застосуванні диференційної ентропії $H_{dn_{r(t)}} = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma^2_{r(t)}}$, основним недоліком якої є обмеженість застосування – тільки для випадкових процесів з нормальним, або близьким до нормального розподілом станів. За міру завадостійкості, при обміні дискретними повідомленнями, використовують залежність ймовірності спотворення бінарного символу від відношення енергії сигналу та спектральної щільності потужності завади, а також залежність відношення потужностей сигнал/завада (S/N) в точці прийняття рішень від такого відношення на вході пристрою опрацювання.

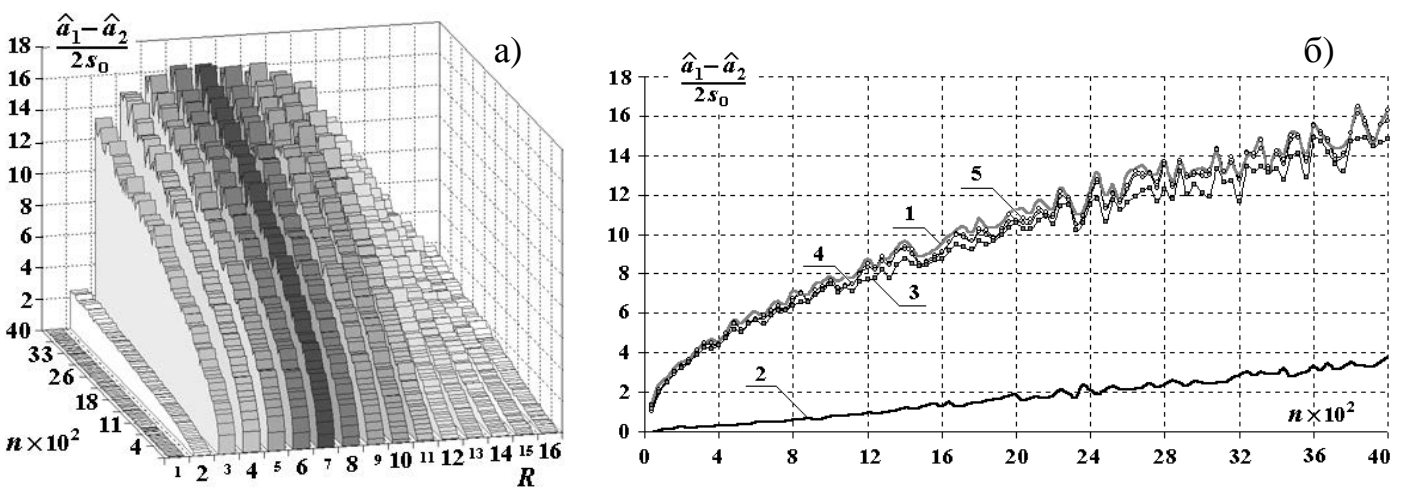


Рис. 7. Залежність ефективності опрацювання сигналів від розміру вибірки n а) та розрядності АЦП, б) для: 1 – оцінки ентропії обчисленої за дисперсією; 2,3,4,5 – оцінки ентропії за Шенноном відповідно для 16, 6, 7, 8-ми розрядного АЦП

У випадку представлення повідомлень у бінарному базисі першою з таких залежностей є ймовірність спотворення бінарного символу P_b від відношення $E_b/N_0 = (S/N) \cdot B$, де E_b – середня енергія, що припадає на один такий символ, N_0 – спектральна щільність потужності завади, S – середня потужність корисного сигналу, N – середня потужність завади (згадані величини розглядаються на вході пристрою опрацювання), $B = W \cdot T$ – база сигналу. З огляду на викладене, аналітичний вираз для залежності ймовірності спотворення бінарного символу від відношення сигнал/завада для запропонованого методу матиме вигляд

$$P_b = Q \left(\frac{\log_2 \left(1 + 2 \frac{S}{N} \right)}{4 \sigma_0} \right), \quad (2)$$

де σ_0 – СКВ завади на виході блоку оцінювання ентропії, визначається за (3), $Q(x)$ – гаусів інтеграл помилок,

$$\sigma_0 = \sqrt{\text{var}\{\hat{H}_{dnr(t)}\}}, \quad (3)$$

де $\hat{H}_{dnr(t)}$ – оцінка диференційної ентропії сигналу $r(t)$,

$\text{var}\{\hat{H}_{dnr(t)}\}$ – дисперсія на виході блоку оцінювання ентропії (в точці прийняття рішень), визначається за отриманим виразом:

$$\text{var}\{\hat{H}_{dnr(t)}\} = \int_0^{\infty} \left(\log_2 \sqrt{2 \pi e s^2_{r(t)}} \right)^2 \cdot f(s^2_{r(t)}) ds^2_{r(t)} - \left(E\{\hat{H}_{dnr(t)}\} \right)^2, \quad (4)$$

де $s^2_{r(t)}$ – оцінка дисперсії сигналу $r(t)$,

$E\{\hat{H}_{dnr(t)}\}$ – математичне сподівання оцінки $\hat{H}_{dnr(t)}$, визначається за (5),

$f(s^2_{r(t)})$ – щільність ймовірностей оцінки $s^2_{r(t)}$, визначається за (6).

$$E\{\hat{H}_{dnr(t)}\} = \int_0^{\infty} \log_2 \sqrt{2 \pi e s^2_{r(t)}} \cdot f(s^2_{r(t)}) ds^2_{r(t)}, \quad (5)$$

$$f(s^2_{r(t)}) = \frac{1}{\frac{2 \sigma^4_{r(t)}}{n-1} \cdot \sqrt{2 \pi}} \cdot \exp \left(- \frac{(s^2_{r(t)} - \sigma^2_{r(t)})^2}{2 \cdot \left(\frac{2 \sigma^4_{r(t)}}{(n-1)} \right)^2} \right). \quad (6)$$

Крім того отримано спрощений наближений вираз для обчислення σ_0 :

$$\sigma_0 \approx 1.02 / \sqrt{n-1}. \quad (7)$$

З врахуванням виразу (7) отримано наближені спрощені залежності для ймовірності спотворення бінарного символу:

$$P_b \approx Q \left(0,245 \cdot \log_2 \left(1 + 2 \frac{S}{N} \right) \cdot \sqrt{n-1} \right), \text{ чи } P_b \approx Q \left(0,245 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{4E_b}{N_0 n} \right) \cdot \sqrt{n-1} \right) \quad (8)$$

Кількість відліків сигналу n , що припадає на один символний інтервал, визначається його тривалістю T і частотою дискретизації. Тобто, при заданій ширині частотного спектру W , кількість відліків буде безпосередньо пов'язана з базою сигналу. Таким чином, для запропонованого методу значення бази сигналів суттєво впливає на ймовірність спотворення бінарного символу при заданому відношенні

E_b/N_0 , що фактично пояснюється залежністю потужності завади на виході блоку оцінювання інформаційної ентропії від значення бази сигналу.

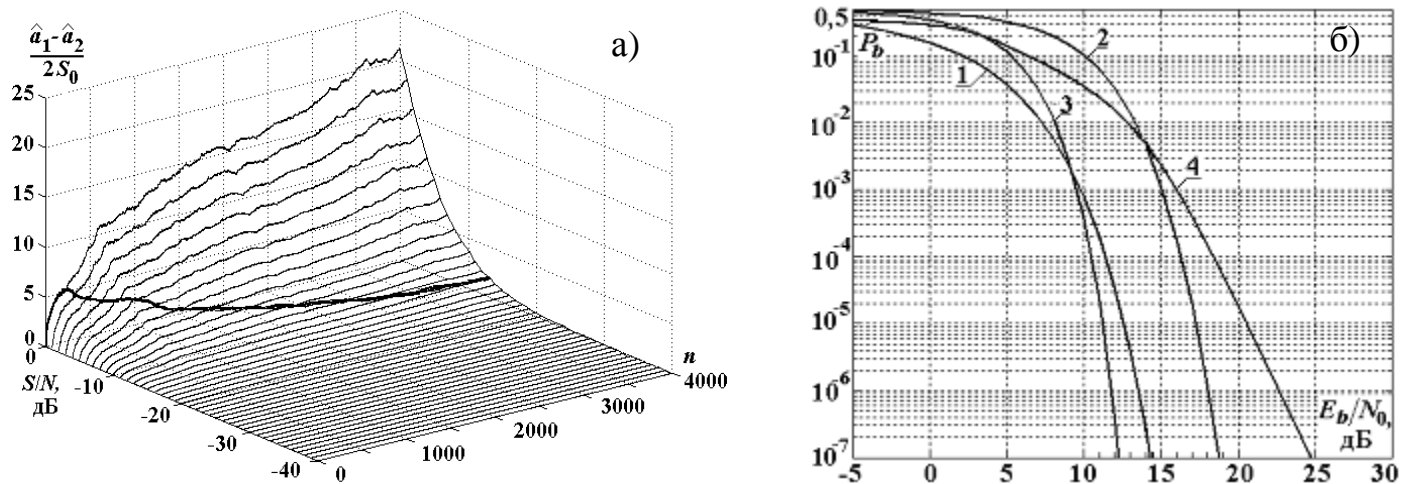


Рис. 8. Залежність а) $(\hat{a}_1 - \hat{a}_2)/(2s_0)$ від n та S/N , б) ймовірності спотворення бінарного символу P_b від відношення E_b/N_0 : 1 – оптимальне кореляційне опрацювання ортогональних сигналів з базою $B = 17$ дБ, 2 – розроблений метод при $B = 17$ дБ, 3 – розроблений метод в умовах однакової часової складності, 4 – розроблений метод з використанням сигналів з паузами в 10 відліків ($W \cdot T = 17$ дБ)

З метою встановлення мінімального розміру вибірки n , залежності (13), для різних відношень сигнал/завада проведено імітаційне моделювання, в результаті якого отримано залежність оцінки обраного критерію завадостійкості \hat{K} від відношення S/N та n , рис. 7. Можна побачити, що у таких умовах оптимальне значення критерію, а отже й мінімальна ймовірність спотворення бінарного символу, досягається за розмірів вибірки близько 100 відліків, що при обраній частоті дискретизації (48 кГц) відповідає базі сигналу 17 дБ, тривалості символного інтервалу 2.08(9) мс., рис. 9б, крива 2. На основі порівняння отриманих результатів з завадостійкістю оптимального кореляційного опрацювання ортогональних сигналів (рис. 8б, крива 1 та 4) отримано залежність відношення сигнал/завада в точці прийняття рішень від такого відношення на вході пристрою опрацювання. Отже, завадостійкість розробленого, не кореляційного, методу наближається до оптимальних кореляційних з різницею, яка не перевищує 4.5 дБ при опрацюванні сигналів однакової бази. Запропонований метод дозволяє зменшити апаратні затрати та часову складність реалізації, що надає можливість опрацьовувати сигнали з більшою базою в умовах однакової обчислювальної складності і, як наслідок, суттєво збільшує завадостійкість.

В четвертому розділі роботи проведено ряд досліджень на основі яких розроблено теоретичні основи нового методу ідентифікації знаково-символьних об'єктів шляхом використання однієї або декількох сумісно імовірнісних характеристик при опрацюванні їх двомірних цифрових представлень. Розглянуто використання інформаційної ентропії, розподілу ймовірностей станів, дисперсії, середнього квадратичного відхилення та центральних моментів різних порядків. Тобто при побудові проекції формують відображення зображення у вектор, значення якого представляють як результат обчислення однієї або декількох сумісно імовірнісних характеристик фрагментів цифрового представлення розташованих вздовж визначених напрямків. При такому підході варіативні значення оцінок інформаційної ентропії

опосередковано представляють параметр інформативної ознаки, що використовується для прийняття рішень чи формування відповідних рекомендацій.

Множина усіх монохромних зображень розміру $n \times m$ пікселів знаходиться у бієктивній відповідності з множиною усіх бінарних матриць порядку $n \times m$, тобто є векторним простором розмірності $n \times m$ над скінченним полем. Означимо відображення простору $\{0,1\}^n$ (простір впорядкованих наборів з “0” та “1” довжиною n) у відрізок $[0,1]$ (оцінок інформаційної ентропії таких наборів), тобто відображення $\hat{h}_n : \{0,1\}^n \rightarrow [0,1]$ де $\hat{h}_n(i_1, i_2, \dots, i_n) = -(P^{“0”} \cdot \log_2 P^{“0”} + P^{“1”} \cdot \log_2 P^{“1”})$, де $i_j \in \{0,1\}$, $P^{“1”} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n i_j$, $P^{“0”} = 1 - P^{“1”}$.

Нехай бінарна матриця $X \in \{0,1\}^{n \times m}$ є представленням деякого об’єкту. Означимо тепер відображення оцінок ентропії $\hat{h}_h : \{0,1\}^{n \times m} \rightarrow [0,1]$ та $\hat{h}_v : \{0,1\}^{n \times m} \rightarrow [0,1]$ наступним чином:

$$\hat{h}_h(X) = (\hat{h}_n(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m}), \hat{h}_n(x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m}), \dots, \hat{h}_n(x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm})), \quad (9)$$

де x_{ij} – елемент матриці X або матриці отриманої з X незалежними перестановками елементів у її стовпцях

$$\hat{h}_v(X) = (\hat{h}_n(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}), \hat{h}_n(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{n2}), \dots, \hat{h}_n(x_{1m}, x_{2m}, \dots, x_{nm})), \quad (10)$$

де x_{ij} – елемент матриці X або матриці отриманої з X незалежними перестановками елементів у її рядках. Індекси h та v у позначенні \hat{h} відображення фактично вказують на те, що \hat{h}_h – діє на рядки а \hat{h}_v – діє на стовпці матриці X .

Таким чином кожному бінарному зображенню об’єкта (рис.9) ставиться у відповідність набір проєкцій – векторів оцінок ентропії, які отримуються через застосування відображень \hat{h}_h та \hat{h}_v до матриці X та її заданих перестановок: $X \mapsto \{\hat{h}_1^{ob}, \hat{h}_2^{ob}, \dots, \hat{h}_g^{ob}\} = H^{ob}$, де індекс g позначає кількість відповідних проєкцій.

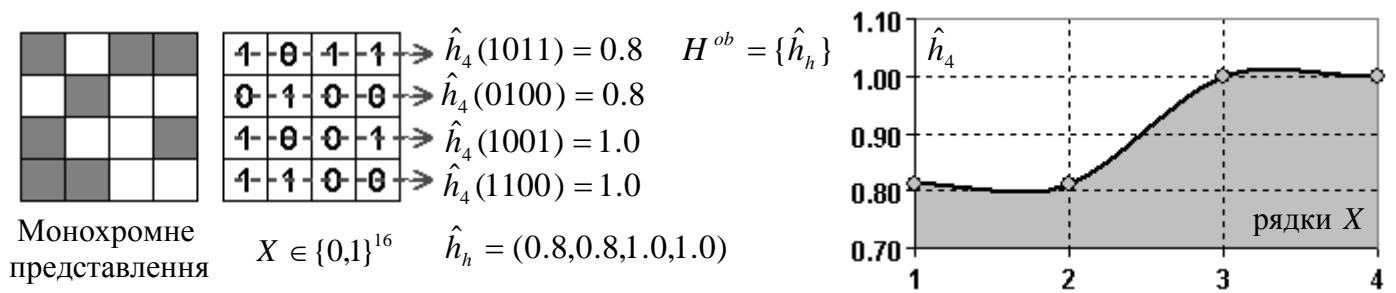


Рис. 9 – Схема формування та графічного представлення вертикальної проєкції \hat{h}_h бінарної матриці X монохромного зображення об’єкта

На основі таких проєкцій формують еталонні представлення для заданої кількості k об’єктів $H^e : \{H^{e1}, H^{e2}, \dots, H^{ek}\}$ з використанням яких, в подальшому, розраховується коефіцієнти взаємкореляції з об’єктом, що ідентифікується. Доцільно зазначити, що необхідним є виконання умови $|H^{ob}| = |H^{ei}|$ для $i = \overline{1, k}$. Нехай $\hat{h}^{ob} \in H^{ob}$ і $\hat{h}^e \in H^{ei}$ відповідні вектори оцінок інформаційної ентропії об’єкта і одного з еталонів відповідно. В такому випадку: $R_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q \hat{h}^e[j] \cdot \hat{h}^{ob}[j]$, де q – розмірність векторів

\hat{h}^e та \hat{h}^{ob} , \hat{h}^o та \hat{h}^{ob} – центровані вектори векторів \hat{h}^e та \hat{h}^{ob} відповідно. В результаті формується матриця коефіцієнтів кореляції задіяних проєкцій об'єкту H^{ob} та наявних еталонів H^e :

$$\begin{pmatrix} R_{xy}(\hat{h}_1^{e1}, \hat{h}_1^{ob}) & R_{xy}(\hat{h}_2^{e1}, \hat{h}_2^{ob}) & \dots & R_{xy}(\hat{h}_g^{e1}, \hat{h}_g^{ob}) \\ R_{xy}(\hat{h}_1^{e2}, \hat{h}_1^{ob}) & R_{xy}(\hat{h}_2^{e2}, \hat{h}_2^{ob}) & \dots & R_{xy}(\hat{h}_g^{e2}, \hat{h}_g^{ob}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{xy}(\hat{h}_1^{ek}, \hat{h}_1^{ob}) & R_{xy}(\hat{h}_2^{ek}, \hat{h}_2^{ob}) & \dots & R_{xy}(\hat{h}_g^{ek}, \hat{h}_g^{ob}) \end{pmatrix} \quad (11)$$

Відповідність об'єкту до одного з наявних еталонів визначається за найбільшою кількістю максимальних значень коефіцієнтів взаємкореляції $R_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob})$ в одному рядку. Якщо в матриці виявлено рядки з рівною кількістю максимальних $R_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob})$ то відповідність не встановлено, що фактично вказує на відсутність опису ідентифікованого об'єкту серед наявних еталонів. Структурну схему реалізації описаного методу подано на, рис.10.

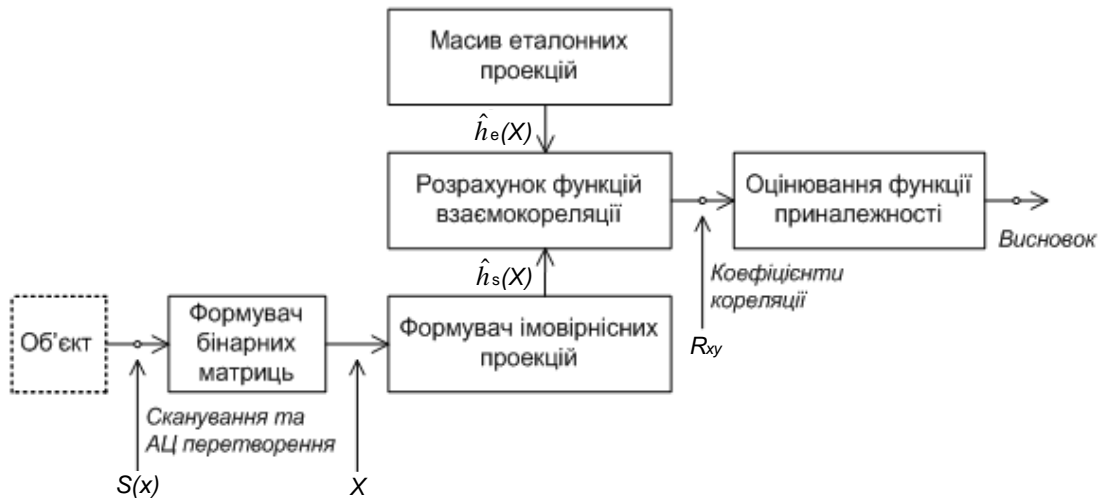


Рис. 10. Ідентифікація об'єкту за його імовірнісними проєкціями

Запропонований підхід побудови проєкцій за оцінками інформаційної ентропії, які розраховують за формулою Шеннона, є інваріантним до інверсного представлення об'єкту. На рис.9 бачимо $\hat{h}_4(1011) = \hat{h}_4(0100)$ це пояснюється тим, що імовірності появи P^{00} та P^{11} бінарних символів у випадку інверсного представлення фактично взаємно міняються значеннями а їх сума залишиться незмінною.

На наступному етапі проведено дослідження коефіцієнтів взаємкореляції на прикладі ряду фіксованих графічних зображень цифр $\{0, 1, \dots, 9\}$, представлених відповідними проєкціями $H^e : \{H^{e1}, H^{e2}, \dots, H^{e9}\}$, що розраховані за їх бінарними матрицями, результати подано на рис.11a, (тут еталони одночасно є і об'єкти). Встановлено, що при використанні горизонтальної та вертикальної проєкцій (отриманих з X після відповідних перестановок) коефіцієнти взаємкореляції між $\{H^{e1}, H^{e2}, \dots, H^{e9}\}$ не перевищують значення 0.08 для 95.5% випадків і значення 0.21 для 4.5% від кореляційного максимуму, що приблизно на 28% менше порівняно з матричними обчислювальними методами, зокрема з кореляційним та проєкційним інтегральним методом. При формуванні графічних представлень об'єкту виникають різного роду спотворення зумовлені впливом навколишнього середовища, апаратних

та конструктивних обмежень сенсорів, похибок перетворювачів тощо. З метою перевірки ефективності запропонованого методу проведено імітаційне моделювання в обчислювальному експерименті, в ході якого здійснювалось рівномірне спотворення графічних представлень білими та чорними пікселями з подальшим оцінюванням імовірності вірної ідентифікації P_{is} символу, рис.11б.

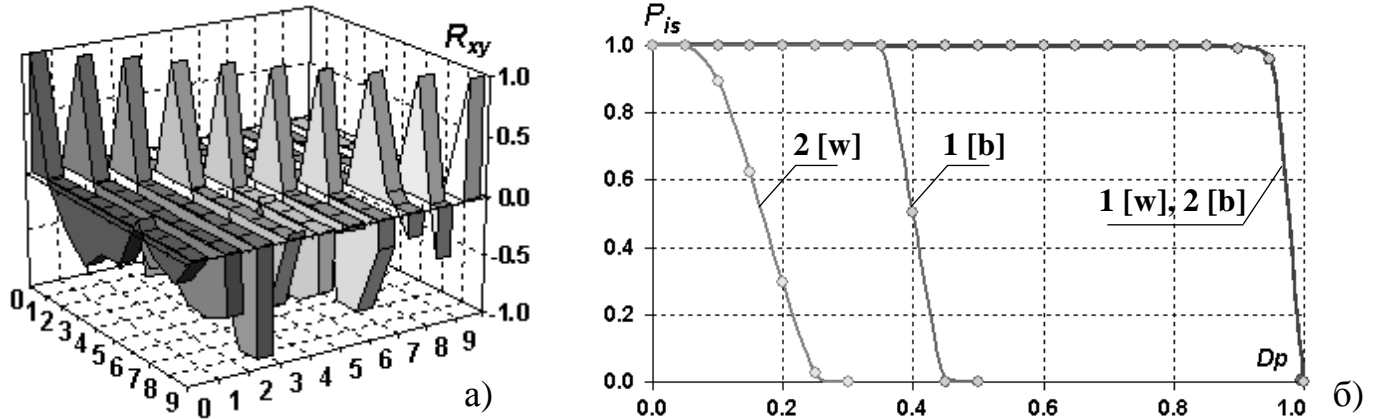


Рис. 11. $H^e : \{H^{e1}, H^{e2}, \dots, H^{e9}\}$ еталонних проекцій цифр $\{0, 1, \dots, 9\}$ а); зміна імовірності вірної ідентифікації P_{is} символу від величини його спотворення Dp білими [w] та чорними [b] пікселями для еталонних проекцій 1-го та 2-го типів

Встановлено, для еталонних проекцій першого типу – реалізованих за незаповненими (нульовими) полігонами графічних представлень, що інформаційні втрати зумовлені спотворенням до 87.8% білими та до 34.5% чорними пікселями, практично не впливають на коректність ідентифікації. Крім того, для еталонних проекцій другого типу – реалізованих за заповненими (одичними) полігонами, спостерігається обернена залежність, зокрема при спотворенні до 5.8% білими та до 90.2% чорними пікселями. Вибір типу проекцій, за якими буде проводитись розрахунок, доцільно здійснювати на основі попереднього оцінювання ступені заповнення бінарної матриці одичними елементами, до 50% – проекції першого типу інакше другого типу.

Також проведено дослідження ефективності використання різних взаємкореляційних функцій при опрацюванні ентропійних проекцій, зокрема:

$$- \text{кореляційна } R_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q \hat{h}^e[j] \cdot \hat{h}^{ob}[j]; \quad (12)$$

$$- \text{коваріаційна } K_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q \hat{h}^e[j] \cdot \hat{h}^{ob}[j]; \quad (13)$$

$$- \text{нормована коваріаційна } r_{xy}(j) = \frac{R_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob})}{\sqrt{D_x \cdot D_y}}, \text{ де } D_x, D_y \text{ дисперсії } \hat{h}^e, \hat{h}^{ob}; \quad (14)$$

$$- \text{знакова } H_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q \text{sign}[\hat{h}^e[j]] \cdot \text{sign}[\hat{h}^{ob}[j]], \text{ де } \text{sign}[h[j]] = \begin{cases} 1, h[j] \geq 0; \\ -1, h[j] < 0. \end{cases}; \quad (15)$$

$$- \text{релейна } P_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q \hat{h}^e[j] \cdot \text{sign}[\hat{h}^{ob}[j]]; \quad (16)$$

$$- \text{структурна } C_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q (\hat{h}^e[j] - \hat{h}^{ob}[j])^2; \quad (17)$$

$$- \text{модульна } G_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q |\hat{h}^e[j] - \hat{h}^{ob}[j]|; \quad (18)$$

$$- \text{еквівалентності } \check{F}_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q \check{z}_{j,i}[\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}], \text{ де } \check{z}_{j,i}[\hat{h}^e, \hat{h}^{ob}] = \begin{cases} \hat{h}^e, & \hat{h}^e \leq \hat{h}^{ob}, \\ \hat{h}^{ob}, & \hat{h}^e > \hat{h}^{ob}. \end{cases} \quad (19)$$

На основі моделювання в чисельному експерименті встановлено, що мінімальної невизначеності можна досягти при застосуванні формули R_{xy} . Запропонований метод, за порівняно менших обчислювальних затрат, дозволяє збільшити адекватність ідентифікації порівняно з відомими матричними обчислювальними методами за рахунок використання імовірнісного, в даному випадку ентропійного, представлення.

В п'ятому розділі розглянуто імплементацію оцінок інформаційної ентропії при опрацюванні амплітудних діагностичних біоакустичних сигналів, які використовуються для контролю відновлення артикуляційного простору при використанні знімних конструкцій. Особливістю діагностування артикуляційної системи є те, що знімна конструкція, при відтворенні сигналів, задіяна лише в моменти артикуляції, тобто для формування негармонійних широкосмугових складових. В такій ситуації, спектральні характеристики послідовності акустичних реалізацій є малоінформативні, що не дозволяє їх використати в задачах діагностування згаданого типу. В ході ряду експериментальних досліджень різних реалізацій таких сигналів $S(n)$ встановлено, що амплітудно-частотні характеристики широкосмугових фрагментів мають розподіл близький до рівномірного, охоплюють частотний діапазон до 12КГц і різняться між собою несуттєво, рис.13а. В результаті запропоновано використання однієї, зокрема ентропійної, чи кількох сумісно імовірнісних характеристик для формування векторів опису станів об'єкту діагностування з подальшим їх кореляційним чи статистичним аналізом, рис.12.

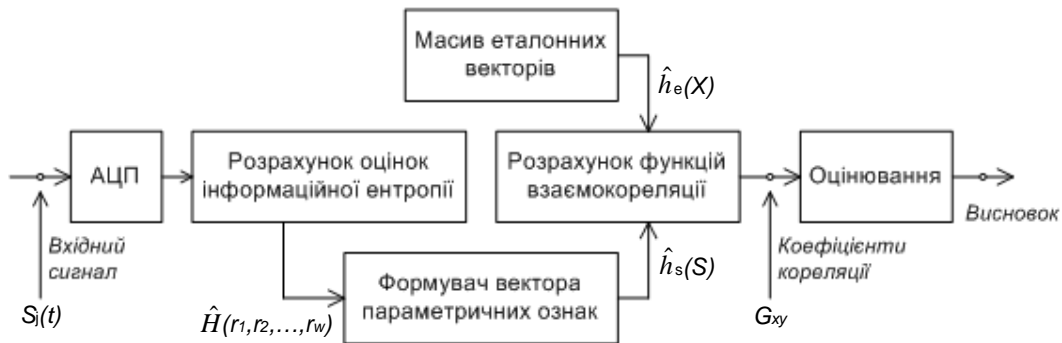


Рис. 12. Опрацювання акустичних реалізацій широкосмугових діагностичних сигналів зі змінною ентропією

Запропонований підхід передбачає опрацювання випадкових широкосмугових сигналів, таким чином, що значення фрагментів їх інформаційної ентропії використовуються для побудови параметричних векторів за якими реалізується оцінювання можливих станів об'єкту діагностування.

Нехай представленням амплітуд деякого оцифрованого діагностичного сигналу є вектор $S = (r_1, r_2, \dots, r_n) \in [-32768; 32767]^n$, що зумовлено використанням 16-ти розрядного АЦП, частота дискретизації 44100 Гц. Означимо тепер відображення оцінок ентропії

$\hat{h}_s : [-32768; 32767]^n \rightarrow [0; 16]^{\lfloor \frac{n}{w} \rfloor}$, де $\lfloor \frac{n}{w} \rfloor$ – округлення до меншого цілого, таким чином:

$$\hat{h}_s(S) = (\hat{H}(r_1, r_2, \dots, r_w), \hat{H}(r_{w+1}, r_{w+2}, \dots, r_{w+w}), \dots, \hat{H}(r_{w+\dots+w+1}, \dots, r_n)) \quad (20)$$

де \hat{H} – функція розрахунку оцінки інформаційної ентропії за формулою Шеннона,
 r_i – елемент вектора S ,
 w – розмір фрагменту вектора S за яким розраховується оцінка ентропії.

Таким чином кожному сигналу ставиться у відповідність вектор оцінок інформаційної ентропії, який отримуються через застосування функції розрахунку ентропії \hat{H} за формулою Шеннона до наборів відповідних елементів (координат) вектора амплітуд сигналу S , рис.13б.

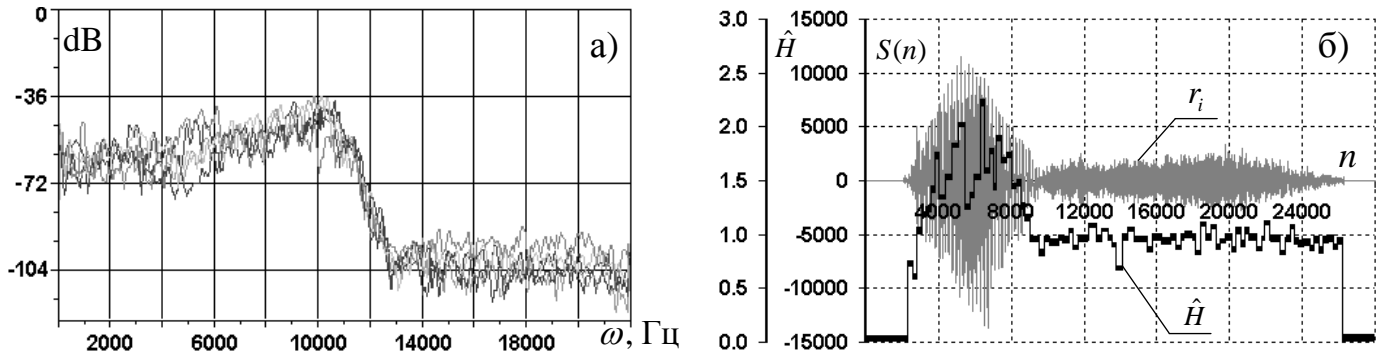


Рис. 13. Графіки а) акустичного сигналу $S(n)$ тестового буквосполучення з оцінками інформаційної ентропії його послідовних фрагментів \hat{H} ; б) спектри приголосних фрагментів різних реалізацій сигналів $S(n)$

В ході досліджень обґрунтовано використання таких способів формування випадкових сигналів S_C та S_{III} при діагностуванні, які характеризуються максимальним залученням артикуляційних зон. В результаті для аналізу запропоновано використання представлень \hat{H} , що формують за оцінками інформаційної ентропії амплітуд, фрагментів фіксованого розміру сигналу $S(n)$ отриманого при відтворенні тестових акустичних реалізацій, рис.14а. В ході дослідження експериментальних сигналів отриманих як для випадків з використанням знімних конструкцій так і без них встановлено, що кількість можливих станів s_r , яку приймає широкопasmовою приголосна частина зростає пропорційно до w за яким розраховується \hat{H} , рис.14а крива 1. Крім того СКВ \hat{H} цих частин також зростає зі збільшенням w , при чому для випадків з використанням знімних конструкцій і без них (рис.14а криві 2 та 3 відповідно) спостерігається різний нахил цих характеристик. З огляду на отримані результати здійснено обмеження мінімального розміру w , який знаходиться в околі 256 елементів r_i , ділянка зміни нахилу, рис.14а виділено сірим, згаданих характеристик для відповідних реалізацій сигналів.

На основі моделювання в чисельному експерименті встановлено, що при обмеженні кількості можливих станів r_i шляхом зміни розрядності АЦП, оцінки ентропії широкопasmових приголосних частин сигналів, отриманих без використання знімних конструкцій, задовільно групуються по прямій, рис.14б, що не спостерігається для сигналів отриманих з використанням таких конструкцій. Таким чином, доцільно розглянути виявлену властивість, як один з критеріїв ефективності. За результатами експериментальних досліджень сформовано еталонні проєкції $H^e : \{\hat{h}^{e1}, \hat{h}^{e2}, \dots, \hat{h}^{ek}\}$, для різних типів широкопasmових частин сигналів з використанням яких, в подальшому, розраховується коефіцієнти взаємкореляції.

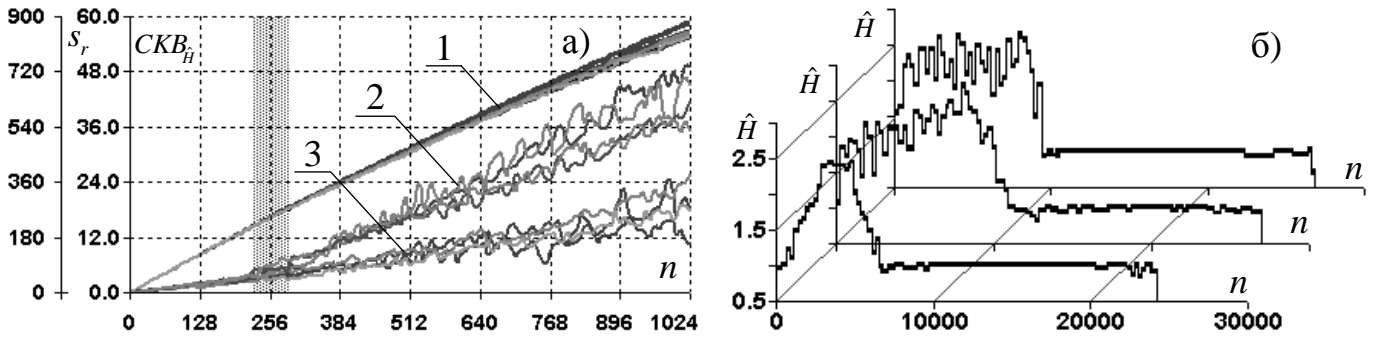


Рис. 14. Графіки а) зміни кількості можливих станів s_r та $CKB \hat{H}$ різних реалізацій тестових сигналів; б) ентропійних відображень характерних реалізацій сигналів отриманих без використання знімних конструкцій

Нехай \hat{h}^s і $\hat{h}^e \in H^{ei}$ відповідні вектори оцінок інформаційної ентропії сигналу і одного з еталонів відповідно, в такому випадку: $G_{xy}(\hat{h}^e, \hat{h}^s) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q |\hat{h}^s[j] - \hat{h}^e[j]|$, де q – розмірність векторів \hat{h}^e та \hat{h}^s .

Ступінь наближення характеристик сигналу представленого проекцією \hat{h}^s до відповідного еталону \hat{h}^e визначається за наближенням коефіцієнту взаємкореляції до нульового значення. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що для сигналів S_C 79% розглянутих реалізацій $G_{xy} \in [0;0,016]$, 10% – $G_{xy} \in]0,016;0,032]$ і 11% – $G_{xy} \in]0,032;1]$. Для сигналів S_{III} 62% реалізацій $G_{xy} \in [0;0,016]$, 19% – $G_{xy} \in]0,016;0,032]$ і 19% – $G_{xy} \in]0,032;1]$. В результаті встановлено верхню межу інтервалу для G_{xy} на рівні 0.032 як показник прийнятної ефективності знімної конструкції, що дозволяє отримати збіжність для 85% сигналів S_C та S_{III} . З метою спрощення аналітичного опису, за критерій ефективності доцільно обрати середньоквадратичний відхил, який розраховується для вектора оцінок інформаційної

ентропії відповідної реалізації сигналу: $\sigma_{\hat{H}} = \sqrt{\frac{1}{q-1} \sum_{j=1}^q (\hat{h}^s[j] - \overline{\hat{h}^s})^2}$. За такого підходу,

для сигналів S_C 45% розглянутих реалізацій $\sigma_{\hat{H}} \in [0;0,016]$, 39% – $\sigma_{\hat{H}} \in]0,016;0,032]$ і 16% – $\sigma_{\hat{H}} \in]0,032;1]$. Для сигналів S_{III} 48% реалізацій $\sigma_{\hat{H}} \in [0;0,016]$, 33% – $\sigma_{\hat{H}} \in]0,016;0,032]$ і 19% – $\sigma_{\hat{H}} \in]0,032;1]$. В результаті, як і в попередньому випадку, верхню межу флуктуації для $\sigma_{\hat{H}}$ доцільно встановити на рівні 0.032 як показник прийнятної ефективності, що дозволяє отримати дещо меншу, але допустиму збіжність для 82% сигналів. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження підтвердили ефективність використання \hat{H} при опрацюванні сигналів в задачах діагностування.

В шостому розділі сформульовано особливості використання розроблених методів, моделей і технологій для побудови цифрових компонентів комп'ютерних інформаційно-вимірювальних систем. Показано, що засоби формування та опрацювання сигналів можуть бути реалізовані як на основі спецпроцесора, так і на базі універсальних мікроконтролерів. На основі запропонованого та дослідженого методу опрацювання сигналів зі змінною інформаційною ентропією розроблено структуру цифрової інформаційно-вимірювальної системи контролю витрати газових середовищ (рис.15), яка передбачає опрацювання традиційних джерел інформації про

параметри потоку, температури та тиску, дискретні імпульсні перетворювачі об'єму, а також використання оцінок інформаційної ентропії шумів потоку, що формуються в розробленому перетворювачі для контролю витрати.

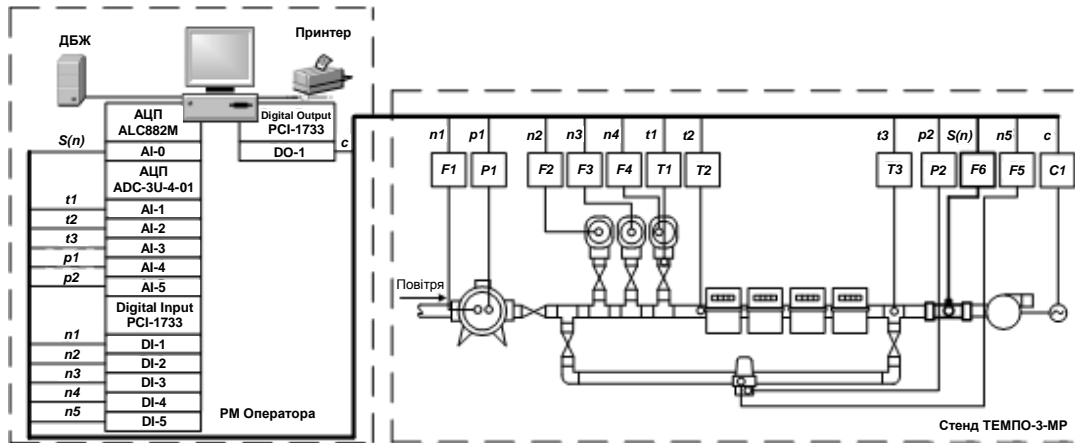


Рис. 15. Структурна схема ІВС з перетворювачем витрати на основі оцінок інформаційної ентропії шумів завихреного потоку для стенду ТЕМПО-3-МР

Розроблений інформаційно-вимірювальний канал витрати газу, на основі запропонованого первинного перетворювача, дозволяє забезпечити формування даних з частотою 2 Гц, зменшуючи при цьому затрати часу на процедури калібрування, атестації та перевірки. Крім того розроблено пакет функцій програмного забезпечення, що реалізують зчитування і опрацювання випадкових шумових сигналів, попередньо виміряних та перетворених в послідовні цифрові пакети даних.

На основі регресійного аналізу встановлено, що одним із найпростіших варіантів заміни складової $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ міри інформаційної ентропії Шеннона є використання степеневих функцій четвертого порядку з нерівномірним розділенням інтервалу [0,1]. Алгоритм реалізації та результати оцінювання необхідної кількості математичних операцій, подано на рис.16а. При реалізації обчислень за розробленими алгоритмами виникає необхідність виконання трьох операцій порівняння, проте реалізації деревоподібної структури забезпечує суттєве зниження обчислювальних затрат, рис.15б крива 2 порівняно з реалізацією, що ґрунтується на розкладі в ряд Тейлора.

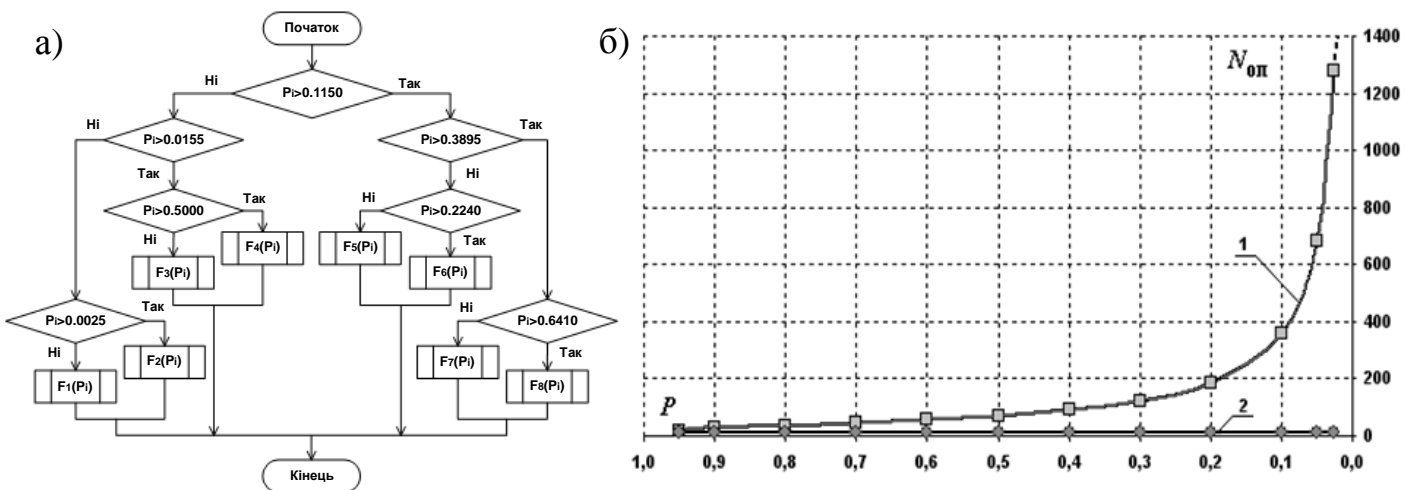


Рис. 16. Блок-схема алгоритму обчислення $p(r_i) \cdot \log_2 p(r_i)$ а), залежності кількості математичних операцій від $p(r_i)$ станів сигналу при розрахунку: 1 - через ряд Тейлора, 2 – за системою поліномних функцій 4-го порядку б)

За результатами моделювання в чисельному експерименті встановлено, що запропонований підхід забезпечує абсолютну похибку $\delta < 0.000015$ обчислення \hat{H} , на два порядки меншу від флуктуації, що спостерігається в околі усередненого значення оцінок ентропії відповідних інформаційних ознак при опрацюванні сигналів з маніпульованою, змінною та варіативною інформаційною ентропією.

Розроблено структурні та принципові схеми засобів формування та опрацювання широкосмугових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією (рис. 17) на платформі програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) а також мікроконтролера, які фактично можуть бути основою для побудови комунікаційних засобів розподілених комп'ютерних систем.

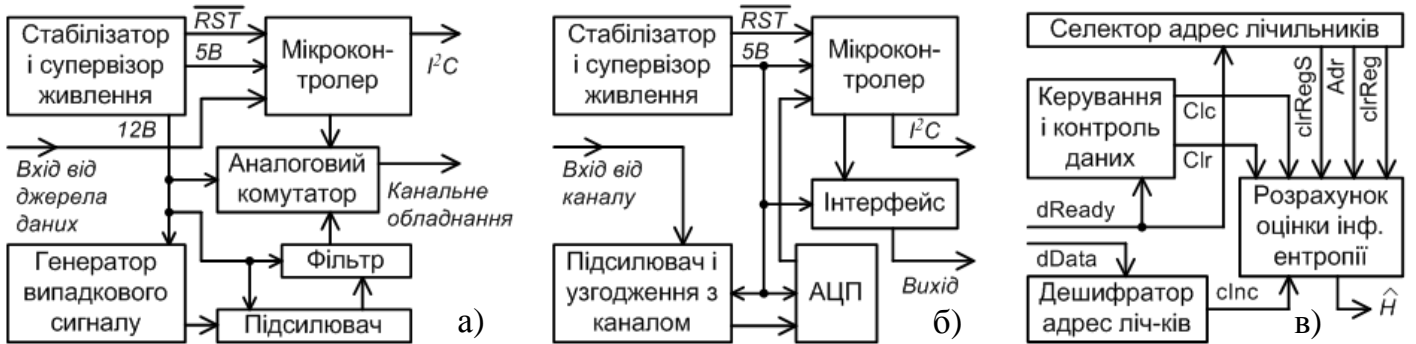


Рис. 17. Структурні схеми пристроїв а) формування, б) опрацювання широкосмугових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією та в) цифрового блоку ПЛІС спецпроцесора розрахунку оцінок інформаційної ентропії

Розроблено алгоритмічні рішення процедур формування та опрацювання широкосмугових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією, на основі яких реалізовано відповідне програмне забезпечення фізичного та каналного рівнів розподіленої комп'ютерної системи.

На основі запропонованого та дослідженого методу опрацювання цифрових представлень акустичних сигналів зі варіативною інформаційною ентропією розроблено узагальнену структуру програмно-апаратних засобів оцінювання характеристик та діагностування ефективності знімних конструкцій, рис.18.

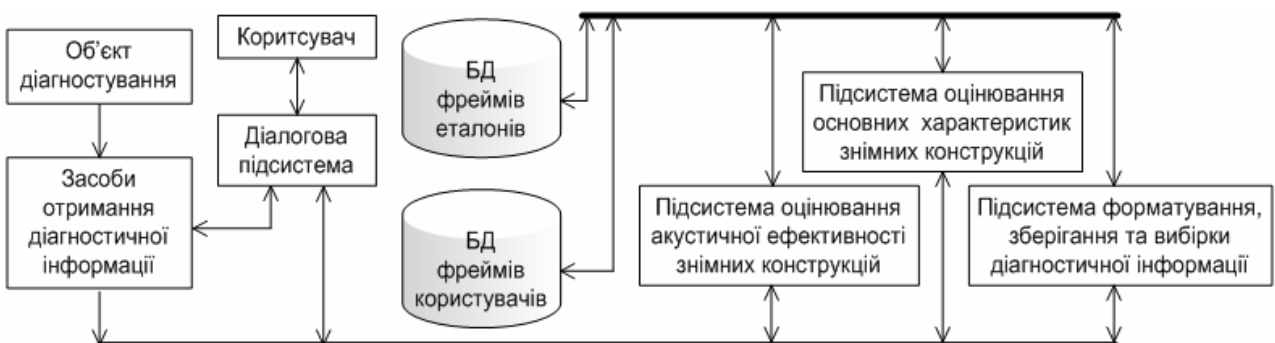


Рис. 18. Узагальнена структура інформаційної системи діагностування на основі опрацювання оцінок інформаційної ентропії амплітуд акустичних сигналів

Реалізована інформаційна система діагностування може модифікуватись та нарощуватись в процесі експлуатації, усі її підсистеми є автономними модулями, що можуть розміщуватись як на локальній так і на віддаленій комп'ютерній системі. Такий підхід дозволяє забезпечити можливість відносно нескладної модифікації тексту програми, тобто внесення змін в один з модулів не потребує перероблення інших.

ВИСНОВКИ ТА ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У результаті проведених досліджень вирішено актуальну науково-технічну проблему створення нових ефективних технологій опрацювання цифрових сигналів у засобах реалізації комунікацій, первинних перетворювачах та засобах діагностування в комп'ютерних системах, розроблено нові теоретичні засади, методи, технології та апаратно-програмні засоби, які в ході експериментальних досліджень підтвердили коректність постановки задач і математичних методів, які використано при їх розв'язанні.

Основні теоретичні та експериментальні дослідження, представлені в роботі узагальнюються такими висновками:

1. Вперше запропоновано метод опрацювання випадкових сигналів, стохастичних пульсацій контрольованого середовища зумовлених його переміщенням, оцінки інформаційної ентропії амплітуд яких використано як джерело інформації про витрату середовища, що дозволило мінімізувати вплив сторонніх шумів а також забезпечити відносну стандартну невизначеність, яка не перевищує 0,5% за рахунок використання ширшого, по відношенню до відомих методів та реалізованих перетворювачів, частотного діапазону сигналів.
2. Розроблено ентропійну модель цифрової системи перетворення та алгоритми опрацювання широкосмугових вимірювальних сигналів, встановлено інформативні смуги частотного спектру 160-1600, $3200 \pm 0.5\%$, $16000 \pm 0.5\%$ Гц шумів завихреного потоку вимірюваного середовища, які характеризуються максимальною залежністю зміни оцінок інформаційної ентропії амплітуд послідовних фрагментів сигналу від величини поточної витрати, що дозволило реалізувати оптимізацію процедури опрацювання даних з обмеженням відповідних ділянок спектру.
3. Удосконалено метод опрацювання вимірювальних сигналів, що реалізується шляхом статистичного оцінювання значень інформаційної ентропії амплітуд послідовних фрагментів шумів контрольованого середовища які, на відміну від характеристик відомих методів, є нечутливими до дрейфу нуля амплітуди вихідних сигналів перетворювача, що дозволило забезпечити експлуатаційну стабільність та зменшити відносну стандартну невизначеність вимірювання.
4. Вперше запропоновано метод формування широкосмугових випадкових сигналів, який полягає у маніпулюванні значенням інформаційної ентропії амплітуд сигналу в залежності від символів бінарного повідомлення, що на відміну від кореляційних методів не потребує формування псевдовипадкових послідовностей, спрощує апаратну та програмну реалізацію комунікаційних засобів, забезпечує рівномірніше використання смуги частот.
5. Отримав подальший розвиток метод опрацювання широкосмугових випадкових сигналів, за яким виділення повідомлення запропоновано здійснювати шляхом статистичного оцінювання значень інформаційної ентропії відповідних фрагментів сигналу, що не потребує зберігання еталонів форми та застосування складних методів кореляційного опрацювання.
6. В результаті порівняльного аналізу ефективності застосування різних імовірнісних характеристик для опрацювання широкосмугових випадкових сигналів встановлено, що використання оцінок інформаційної ентропії дозволяє підвищити

завадостійкість, у порівнянні з іншими характеристиками, в межах 10-18% за критерієм, який враховує імовірнісні розподіли маніпульованих сигналів та завад.

7. Отримано характеристики завадостійкості методу опрацювання сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією, аналітично та на основі моделювання в обчислювальному експерименті, за якими встановлено, що запропонований метод наближається до оптимальних кореляційних методів з різницею, яка не перевищує 4.5 дБ при опрацюванні сигналів однакової бази. Крім того встановлено, що опрацювання сигналів з однаковою базою за розробленим методом здійснюється швидше, ніж за кореляційним, що забезпечує опрацювання більшої у 8.1 разів бази сигналів і дозволяє покращити завадостійкість не менше як на 2 дБ в умовах однакової часової складності при ймовірності помилок 10^{-6} .
8. Удосконалено обчислювальний проєкційний метод ідентифікації об'єктів, за яким побудову проєкцій запропоновано здійснювати шляхом статистичного оцінювання значень інформаційної ентропії відповідних фрагментів двовірних бінарних матриць їх представлень, що дозволяє забезпечити однозначну ідентифікацію знаково-символьних представлень при інформаційних втратах до $\approx 84\%$ зумовлених випадковими, рівномірно розподіленими одиничними спотворенням.
9. Отримано порівняльні характеристики запропонованого та кореляційного методів опрацювання з дослідженням різних взаємокореляційних функцій за яким встановлено, що запропонований підхід дозволяє забезпечити на 20-40% кращу ефективність ідентифікації порівняно із використанням спрощених аналітичних виразів коваріаційної, релейної не центрованої, знакової, структурної та модульної взаємокореляції а також незначне погіршення до 9% порівняно з використанням нормованої, кореляційної, релейної центрованої та еквівалентності взаємокореляційних функцій.
10. Вперше запропоновано метод опрацювання діагностичних сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками, що ґрунтується на використанні імовірнісних представлень послідовних фрагментів їх амплітуд, які отримуються шляхом статистичного оцінювання значень інформаційної ентропії, в задачах діагностування артикуляційної системи при використанні знімних конструкцій, що не потребує використання громіздкого апарату спектрального чи кореляційного аналізу та спрощує обчислювальну складність цифрового опрацювання.
11. Удосконалено статистичний метод ідентифікації функціональних порушень артикуляційного апарату, за яким діагностичний сигнал опрацьовується як імовірнісно-часова послідовність, що вперше дозволило ввести кількісну міру ефективності, як верхню межу флуктуації коефіцієнта взаємокореляції модульної функції, векторів інформативних ознак на рівні 0.032 як показник прийнятної ефективності знімної конструкції, що забезпечує збіжність у 85% незалежних спостережень.
12. В процесі реалізації та впровадження розроблених методів та алгоритмів опрацювання широкосмугових сигналів з маніпульованою, змінною та варіативною інформаційною ентропією отримано такі практичні результати:
 - розроблено апаратне та програмне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи еталонної установки перевірки перетворювачів об'єму газу, яке забезпечує формування вимірювальних даних з частотою 2 Гц, вдвічі зменшуючи при цьому

затрати часу на задавання повірочного параметру витрати для процедур калібрування, атестації, перевірки та оцінювання порогу чутливості первинних перетворювачів.

– синтезовано структуру спецпроцесора формування та опрацювання випадкових ширококутових сигналів з маніпульованою інформаційною ентропією, який характеризується розширеними функціональними можливостями і відрізняється наявністю апаратного модуля оцінювання ентропії, що дозволяє використати його за основу при реалізації цифрових засобів реалізації комунікаційних, які ґрунтуються на опрацюванні випадкових ширококутових сигналів

– реалізовано принципові, алгоритмічні та програмні рішення цифрових засобів формування та опрацювання ширококутових сигналів згідно запропонованого методу на базі універсального мікроконтролера, як компонентів розподілених комп'ютерних систем;

– розроблено алгоритмічні та програмні рішення комп'ютерної системи діагностування артикуляційного простору при постановці знімних конструкцій на основі представлення сигналів з низькою амплітудно-частотною інформативністю у вигляді векторних наборів оцінок інформаційної ентропії, що дозволило вперше використати верхню межу флуктуації модульної взаємкореляційної функції на рівні 0.032, як кількісний критерій формування висновку при діагностуванні.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мельничук С.І. Оцінка завадозахищеності сигналів зі змінною ентропією при передаванні даних в інформаційних каналах розподілених систем контролю та керування / С.І. Мельничук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – Т.1, №2. – С. 218 – 221.
2. Мельничук С.І. Дослідження впливу розрядності АЦП на ефективність оброблення ширококутових сигналів зі змінною ентропією в інформаційних каналах автоматизованих систем / С.І. Мельничук // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2009. – № 43. – С. 88 – 93.
3. Мельничук С.І. Виділення інформативних частин дискретизованих сигналів за ентропійними оцінками їх амплітуди в системах діагностування / С.І. Мельничук // Наукові вісті «Галицька академія». – 2011. – №2(19). – С. 48 – 52.
4. Мельничук С.І. Представлення параметрів лінійних переміщень квазітрійковою маніпуляцією елементів псевдовипадкових кодових послідовностей / С.І. Мельничук // Методи та прилади контролю якості. – 2001. – № 7. – С. 58 – 60.
5. Мельничук С.І. Декодування двійкових циклічних М-послідовностей методом збіжності за ключем / С.І. Мельничук // Методи та прилади контролю якості. – 2005. – № 15. – С. 40 – 42.
6. Мельничук С.І. Перспективи використання псевдовипадкових М-послідовностей в газомірних еталонних установках для точного вимірювання лінійних переміщень / С.І. Мельничук // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2003. – №37. – 85 – 89.
7. Мельничук С.І. Методи та алгоритми декодування двійкових циклічних послідовностей Галуа в автоматизованих системах контролю споживання

- енергоносіїв / С.І Мельничук // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2010. – № 44. – С. 113 – 123.
8. Рудак С.М. Аналіз джерел формування широкосмугових вимірювальних сигналів для перетворювачів витрати на основі ентропійних оцінок шумів не завихреного та завихреного потоків / С.М. Рудак, С.І. Мельничук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – №2. – С. 158 – 162. **Copernicus**
 9. Мельничук С.І. Використання розподілу результатів вимірень для оцінювання метрологічних характеристик первинних перетворювачів та інформаційно-вимірювальних каналів / С.І. Мельничук, І.З. Мануляк // Метрологія та прилади. – 2014. – №4 (48). – С. 41 – 47. **Copernicus**.
 10. Мельничук С.І. Використання Гаусового інтеграла помилок при оцінюванні метрологічних характеристик перетворювачів інформаційно-вимірювальних систем / С.І. Мельничук, І.З. Мануляк // Науковий вісник національного гірничого університету. – 2013. – №5(137). – С. 112 – 120. **SCOPUS**
 11. Романів В.М. Цифрова система оцінювання енергетичних параметрів природного газу за поглинаючою здатністю ІЧ-випромінювання його компонентами / В.М. Романів, С.І. Мельничук // Сборник научных трудов SWorld. – Выпуск 3. Том 6. – Иваново: Маркова А.Д., 2013 – С. 87 – 97. **РИНЦ**
 12. Романів В.М. Методика адаптивного оцінювання вищих вуглеводневих компонент природного газу зі статистичним розширенням інформаційної бази / В.М. Романів, С.І. Мельничук // Системи обробки інформації: збірник наукових праць – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 6(131). – С. 127 – 130. **Copernicus**.
 13. Melnychuk S.I. Objects (signals) identification using estimated information entropy of two-dimensional monochrome images / S.I. Melnychuk, S.V. Yakovyn // Scientific bulletin of national mining university. Scientific and technical journal. – 2015. – №3 (147). – С. 137 – 142. **SCOPUS**
 14. Мельничук Н.В. Анализ и перспективы использования энтропийных характеристик в восстановлении речевой артикуляции при полном съёмном протезировании / Н.В. Мельничук, Н.М. Рожко, С.И. Мельничук // The scientific and practical journal valeology health - illness - recovery. Kazakhstan Republic. – 2013. – № 3. – С.35-39. **Kazakhstan Republic**
 15. Мельничук С.І. Оптимізація алгоритму обчислення оцінок інформаційної ентропії випадкових сигналів для цифрових засобів обміну даними / С.І. Мельничук, М.В.Коропецька, І.З. Мануляк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – №3. – С. 141 – 148. **Copernicus**
 16. Мельничук С.І. Декодування одновимірних циклічних М-последовностей методом адаптивного сходження / С.І. Мельничук, С.А. Таянов // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: український міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2001. – № 36. – С. 117 – 121.
 17. Мельничук С.І. Перспективи реалізації методу вимірювання витрати і кількості газу на основі зміни спектральних характеристик шумів контрольованого середовища / С.І. Мельничук, О.П. Пашкевич // Методи та прилади контролю якості. – 2003. – № 11. – С. 64 – 68.
 18. Пашкевич О.П. Застосування різних коваріаційних функцій для методу вимірювання витрати газу на основі спектральних характеристик шумів

- контрольованого середовища / О.П. Пашкевич, С.І. Мельничук // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч.1. Т.1. – С. 199 – 203.
19. Мельничук С.І. Дослідження статистичних характеристик випадкових сигналів провідникових та радіоканалів обміну даними розподілених систем контролю / С.І. Мельничук, М.І. Козленко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Ч.1 Т.1, №4. – С. 200 – 204.
20. Пашкевич О.П. Особливості застосування статистичних характеристик шуму контрольованого середовища при вимірюванні витрати газу / О.П. Пашкевич, С.І. Мельничук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – №4, Ч.1, Т.2– С. 62 – 65.
21. Мельничук С.І. Відтворення контрольних об'ємів у газомірних установках із використанням датча реалізованого на основі квазітрійково маніпульованих елементів послідовностей Галуа / С.І. Мельничук, Я.М. Николайчук // Український метрологічний журнал. – 2005. – №1. – 63 – 66.
22. Пашкевич О.П. Система вимірювання витрати та об'єму газу на основі зміни статистичних характеристик шуму контрольованого середовища / О.П. Пашкевич, С.І. Мельничук // Український метрологічний журнал. – 2005. – №3. – 47 – 49.
23. Пашкевич О.П. Планування параметрів спектрального аналізу для методу вимірювання витрати на основі статистичних оцінок шумів контрольованого середовища / О.П. Пашкевич, С.І. Мельничук // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2005. – №2(8). С . 79 – 82.
24. Козленко М.І. Формування та обробка широкосмугових сигналів на основі випадкових процесів зі змінною ентропією розподілу імовірностей станів / М.І. Козленко, С.І. Мельничук // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2006. – №1(9). С . 28 – 31.
25. Мельничук С.І. Дослідження впливу шумів каналу при передаванні даних способом зміни ентропії розподілу ймовірностей станів / С.І. Мельничук, М.І. Козленко // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2006. – №40. – С. 163 – 166.
26. Козленко М.І. Аналіз сучасного рівня розробки статистичних методів обміну даними на основі шумоподібних сигналів / М.І. Козленко, С.І. Мельничук // Наукові вісті Інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2006. – №2(10). С. 33 – 38.
27. Козленко М.І. Оцінка ефективності застосування різних сигналів при реалізації обміну даними на основі способу заміни ентропії сигналів інформаційного каналу в низових мережах / М.І. Козленко, С.І. Мельничук // Вестник ХНТУ. – 2006. – №2(25). – С. 231 – 234.
28. Козленко М.І. Дослідження завадостійкості способу передавання та приймання інформації на основі широкосмугових сигналів зі змінною ентропією для дискретних повідомлень / М.І. Козленко, С.І. Мельничук // Електроніка и зв'язь. – 2007. – №2(37). – С. 82 – 92.
29. Мельничук С.І. Дослідження ефективності застосування статистичних оцінок при обробці цифрових сигналів, спотворених в інформаційному каналі / С.І. Мельничук, М.Г. Федоришин // Наукові вісті Інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2007. – №2(12). С. 85 – 88.

30. Мельничук С.І. Застосування ентропійних характеристик для виділення інформативних частин сигналів в автоматизованих системах діагностування та контролю / С.І. Мельничук, М.Г. Федоришин // *Методи та прилади контролю якості*. – 2008. – № 21. – С. 87 – 90.
31. Рудак С.М. Аналіз впливу розміру вибірки та розрядності АЦП на СКВ ентропійних оцінок вихрових акустичних перетворювачів витрати газу / С.М. Рудак, С.І. Мельничук // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2009. – №2(31). – С. 53 – 57.
32. Мельничук С.І. Вплив місцевих опорів на метрологічні характеристики шумових ентропійних перетворювачів витрати газу / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // *Нафтова і газова промисловість*. – 2009. – №3. – С. 38 – 40.
33. Мельничук С.І. Зменшення впливу конструктивних елементів газогонів на СКВ оцінок ентропії випадкових коливань потоку в шумових перетворювачах витрати газу / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – Львів – 2009. – вип. 70. – С. 91 – 95.
34. Мельничук С.І. Вплив розподілу випадкових сигналів зумовлених переміщенням газових середовищ на ефективність вимірювання витрати / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // *Методи та прилади контролю якості*. – 2009. – № 23. – С. 73 – 78.
35. Мельничук С.І. Аналіз ефективності застосування складових спектру шумів потоку при вимірюванні витрати газу / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // *Механіка та машинобудування*. – 2009. – №1. – С. 63 – 69.
36. Мельничук С.І. Вихровий перетворювач витрати та об'єму газу на основі зміни ентропійних характеристик шумів контрольованого середовища / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // *Український метрологічний журнал*. – 2010. – №2. – С. 35 – 39.
37. Мельничук С.І. Аналіз впливу методу обчислення ентропійних оцінок на невизначеність вимірювання витрати газових середовищ вихровим ентропійним перетворювачем / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // *Наукові вісті «Галицька академія»*. – 2010. – №1(17). – С. 88 – 94.
38. Рудак С.М. Визначення довжини прямої ділянки трубопроводу, що мінімізує впливи місцевих опорів під час вимірювання витрати газу вихровими ентропійними перетворювачами / С.М. Рудак, С.І. Мельничук // *Проблеми нафтогазової промисловості: збірник наукових праць*. Вип. 8 – Київ, 2010. – С. 208 – 212.
39. Мельничук С.І. Дослідження впливу пасивних фрагментів широкосмугових сигналів з керованою ентропією на завадостійкість обміну даними / С.І. Мельничук, М.І. Козлено, М.В. Коропецька // *Наукові вісті інституту менеджменту та економіки «Галицька академія»*. – 2010. – №1(17). С. 102 – 106.
40. Івасів Т.В. Застосування ентропійних характеристик акустичних шумів для діагностування стану функціонування дихальної системи / Т.В. Івасів, С.І. Мельничук // *Наукові вісті «Галицька академія»*. – 2010. – №18(2). – С. 31 – 34.
41. Мельничук С.І. Можливості використання оцінок ентропії при опрацюванні сигналів в інформаційних діагностичних системах / С.І. Мельничук, В.М. Василик // *Вісник Хмельницького національного університету* – 2011. – №3 (177). – С.175 – 179.
42. Мельничук М.В. Аналіз та перспективи використання статистичних характеристик у дослідженнях мовної артикуляції при ортопедичному лікуванні хворих повними

- знімними пластинковими протезами / М.В. Мельничук, М.М. Рожко, С.І. Мельничук, В.М. Василик // Галицький лікарський вісник. – Івано-Франківськ 2011. – Т. 18, №3. – С. 55 – 59.
43. Мельничук С.І. Адаптація алгоритму розрахунку ентропійних оцінок випадкових сигналів з нормальним розподілом у комунікаційних засобах автоматизованих систем / С.І. Мельничук, М.В. Коропецька // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2011. – №45. – С. 408 – 414.
44. Мельничук С.І. Інформаційні міри розрахунку та розрядність аналого-цифрових перетворювачів ентропійних перетворювачів витрати газових середовищ / С.І. Мельничук, І.З. Мазурик // Методи та прилади контролю якості. – 2012. – №28. – С. 106 – 112.
45. Рудак С.М. Інформаційно-вимірювальна повірочна система з ентропійним перетворювачем витрати завихреного потоку / С.М. Рудак, С.І. Мельничук // Науковий вісник Чернівецького університету. Комп'ютерні системи та компоненти. – 2012. – Т.3., Вип. 1. – С. 63 – 67.
46. Рудак С.М. Особливості застосування первинних перетворювачів у інформаційно-вимірювальних системах витрати газу / С.М. Рудак, С.І. Мельничук // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2014. – №4(51). – С.156 – 161.
47. Пат. 62378 Україна, МПК(2006) G01F25/00 G01F1/66. Спосіб вимірювання величини витрати на основі спектральних характеристик шуму вимірюваного середовища / Мельничук С.І. (Україна). – заявка № 2003032230; заявл. 14.03.2003; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1.
48. Пат. 12414 Україна, МПК(2006) G01F25/00 F03D 3/00 F03D 3/06. Пристрій для перетворення та представлення вимірювальної інформації в тахометричних лічильниках газу / Мельничук С.І., Романів В.М. (Україна). – заявка № u200505738; заявл. 13.06.2005; опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2.
49. Пат. 56740А Україна, МПК(7) G01F25/00. Дзвонова дискретно-динамічна установка для точного відтворення та вимірювання об'ємів і витрат газу. / Мельничук С.І. (Україна). – заявка № 2002087028; заявл. 28.08.2002; опубл. 15.05.2003, Бюл. № 5.
50. Пат. 77083 Україна, МПК(2006) G01F1/66 G01F23/296 G01F25/00. Спосіб вимірювання витрати на основі статистичних характеристик шуму вимірюваного середовища / Мельничук С.І., Пашкевич О.П. (Україна). – заявка № 20041209957; заявл. 16.12.2004; опубл. 15.06.2006, Бюл. № 10.
51. Пат. 81017 Україна, МПК(2006) H04B1/69. Спосіб передавання та приймання інформації / Мельничук С.І., Козленко М.І. (Україна). – заявка № a2005 08893; заявл. 19.09.2005; опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19.
52. Пат. 92915 Україна, МПК(2006) H04B 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації на основі широкосмугових сигналів, що формуються процесами зі змінними імовірнісними характеристиками / Мельничук С. І., Козленко М. І. (Україна). – заявка № a2008 01274; заявл. 01.02.2008; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24;
53. Пат. 95677 Україна, МПК(2011) G01F 25/00 G01F 1/32. Спосіб вимірювання витрати газових середовищ / Мельничук С.І., Рудак С.М. (Україна). – заявка № a 2009 11068; заявл. 02.11.2009, опубл. 25.08.2011, Бюл. № 16.
54. Пат. 68847 Україна, МПК(2012) G01F 15/00 G01F 3/00 G01R 33/02. Реєстратор магнітного поля для лічильників газу або води / Руденко М.В., Хохряков В.В.,

- Мельничук С.І. (Україна). – заявка № u 2011 12300; заявл. 20.10.2011, опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.
55. Пат. 103281 Україна, МПК(2006) G06K 9/64. Спосіб ідентифікації об'єктів за імовірнісними характеристиками фрагментів їх зображень / Мельничук С.І. (Україна). – заявка № a2012 12161; заявл. 23.10.2012, опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18.
56. Пат. 88641 Україна, МПК(2009) G06K 9/00 G06F 19/00. Спосіб розпізнавання дискретних сигналів / Мельничук С. І., Федоришин М.Г. (Україна). – заявка № а 2007 01326; заявл. 08.02.2007; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21;
57. Пат. 53463А Україна, МПК(7) А61С19/00. Спосіб обробки даних електроміографічного (ЕМГ) дослідження жувальних м'язів / Пелехан Л.І., Рожко М.М., Мельничук С.І., Андрійців С.С., Ожоган С.Р., Пітик М.І. (Україна). – заявка № 2002064667; заявл. 07.06.2002; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1.
58. Мельничук С.І. Підвищення точності визначення лінійних переміщень на основі застосування квазітрійкових М-последовностей / С.І. Мельничук // “Приладобудування 2002: підсумки і перспективи”: Збірник тез науково-технічної конференції, м. Київ, 16-17 квітня 2002 р. – Київ: МПП «Темп», 2002. – С. 97 – 98.
59. Мельничук С.І. Реалізація та застосування моделей робочих еталонів об'єму газу з чутливими елементами обертового типу для покращення їх метрологічних характеристик / С.І. Мельничук // Збірник тез доповідей II науково-технічної конференції “Приладобудування 2003: стан і перспективи”, 22-23 квітня 2003 р., м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2003. – С. 191.
60. Мельничук С.І. Застосування давачів лінійного переміщення на основі квазітрійково маніпульованих елементів галуа-последовностей для оптимізації процесів атестації на витратомірних установках дзвонового типу / С.І. Мельничук // Всеукраїнська науково-технічна конференція: Вимірювання витрати та кількості газу і нафтопродуктів, березень 2003р., м. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факел. – 2003. – С. 130.
61. Pashkevych O.P. The planning of parameters of spectral analysis in measuring gas consumption based on spectral characteristic changes of random measuring medium process / O.P. Pashkevych, S.I. Melnychuk // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, Proceedings of the International conference TCSET'2004, February 24-28. Lviv-Slavsko, Ukraine. / Lviv: Publishing house of Lviv Polytechnic, 2004. – P. 269.
62. Мельничук С.І. Перспективи реалізації методу вимірювання витрати та кількості на основі зміни спектральних характеристик шумів контрольованого середовища / С.І. Мельничук, О.П. Пашкевич // Збірник наукових праць III науково-технічної конференції “Приладобудування 2004: стан і перспективи”, 20 - 21 квітня 2004 р., м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2004. – С. 241.
63. Пашкевич О.П. Статистичний аналіз випадкових сигналів, які утворюються при переміщенні газових потоків в транспортній магістралі / О.П. Пашкевич, С.І. Мельничук // IV Міжнародна науково-технічна конференція: Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2004), м. Харків, 12-14 жовтня 2004 р. / Харків: Вид-во ННЦ «Інститут метрології», 2004. – Т.2. – С. 220 – 222.
64. Мельничук С.І. Реалізація давачів переміщення на основі квазітрійково-маніпульованих бінарних кодів Галуа для відтворення контрольних об'ємів в газомірних установках / С.І. Мельничук, Я.М. Николайчук // Збірник тез доповідей

- IV науково-технічної конференції “Приладобудування 2005: стан і перспективи”, 26-27 квітня 2005 р., м.Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2005. – С. 273 – 274.
65. Мельничук С.І. Дослідження впливу режимів протікання газу на метрологічні характеристики шумових витратомірів / С.І. Мельничук, О.П. Пашкевич, Ю.І. Бродин, Н.Л. Кулинин // Всеукраїнська науково-технічна конференція: Вимірювання витрати та кількості газу “Витратометрія 2005”, 17-20 травня 2005р., м. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факел. – 2005. – С. 76.
66. Мельничук С.І. Система безпроводного контролю витрати енергоносіїв на основі широкосмугових каналів зі змінною ентропією розподілу імовірностей станів / С.І. Мельничук, М.І. Козленко // Збірник тез доповідей V науково-технічної конференції “Приладобудування 2006: стан і перспективи”, 25-26 квітня 2006 р., м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2006. – С. 286 – 287.
67. Melnychuk Stepan. Binary cyclic M-sequences decoding by positional key convergence method / Stepan Melnychuk // Modern problems of radio engineering telecommunications and computer science, Proceedings of the International conference (TCSET'2006), February 28- March 4. Lviv-Slavsko, Ukraine. / Lviv: Publishing house of Lviv Polytechnic, 2006. – P. 243 – 245.
68. Козленко М.І. Дослідження впливу форми періодичних сигналів на ентропію розподілу ймовірностей станів у провідникових каналах обміну даними / М.І. Козленко, С.І. Мельничук // XIII міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика – 2006), м. Вінниця, 25 – 28 вересня 2006 р. / Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2006. – С. 338.
69. Мельничук С.І. Оцінка завадозахищеності широкосмугових інформаційних каналів систем контролю споживання енергоносіїв / С.І. Мельничук, М.І. Козленко // Збірник тез доповідей VI міжнародної науково-технічної конференції “Приладобудування 2007: стан і перспективи”, 24-25 квітня 2007 р., м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2007. – С. 310 – 311.
70. Мельничук С.І. Дослідження ефективності застосування статистичних оцінок при обробці цифрових сигналів, спотворених в інформаційному каналі / С.І. Мельничук, М.Г. Федоришин // Тези доповідей XXIV(I) міжнародної міжвузівської школи-семінару: Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі 2007, квітень 2007 р., м. Івано-Франківськ, Інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2007. – С. 14.
71. Мельничук С.І. Перспективи застосування перетворювачів витрати газу реалізовані на оцінюванні ймовірнісних характеристик потоку / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-технічної конференції “Приладобудування 2008: стан і перспективи”, 22-23 квітня 2008 р., М. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2008. – С. 245.
72. Мельничук С.І. Завадостійкість інформаційних каналів систем контролю витрати енергоносіїв реалізованих на випадкових сигналах зі змінною ентропією / С.І. Мельничук, М.І. Козленко // Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-технічної конференції “Приладобудування 2008: стан і перспективи”, 22-23 квітня 2008 р., М. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2008. – С. 254.
73. Мельничук С.І. Застосування статистичних оцінок шумів при діагностуванні системи дихання / С.І. Мельничук, М.Г. Федоришин // Збірник тез доповідей VII

- міжнародної науково-технічної конференції “Приладобудування 2008: стан і перспективи”, 22-23 квітня 2008 р., М. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ». – 2008. – С. 200.
74. Козленко М.І. Система контролю критичних параметрів віддалених об’єктів побутового та промислового призначення / М.І. Козленко, С.І. Мельничук // Автоматика – 2008: доклади XV міжнародної конференції з автоматичного управління, м. Одеса, 23 – 26 вересня 2008 р. – Одеса: «ВидавІнформ» ОНМА. – 2008. – С. 810 – 812.
75. Мельничук С.І. Застосування попередньої статистичної обробки для покращення кореляційних властивостей сигналів / С.І. Мельничук, М.Г. Федоришин // VI міжнародна науково-практична конференція: Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2008), м. Дніпропетровськ, 12-14 листопада 2008 р. – Дніпропетровськ – 2008. – С. 228 – 229.
76. Мельничук С.І. Вплив довжини прямої ділянки трубопроводу на ентропійні характеристики вихрових акустичних перетворювачів витрати для турбулентних потоків газових середовищ / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // Збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції “Приладобудування 2009: стан і перспективи”, 28-29 квітня 2009 р., М. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ». – 2009. – С. 209.
77. Мельничук С.І. Теорія ентропійних методів маніпуляції сигналів / С.І. Мельничук // Збірник наукових праць проблемно-наукової міжгалузевої конференції “Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання” (ПНМК – 2009), м. Бучач, 19-22 травня 2009 р. / Бучач: Бучацький інститут менеджменту і аудиту, 2009. – Т.1, №5. – С. 6 –9.
78. Рудак С.М. Проектування замірних дільниць вузлів обліку газу на основі вихрового ентропійного перетворювача / С.М. Рудак, С.І. Мельничук // Збірник тез доповідей IX міжнародної науково-технічної конференції “Приладобудування 2010: стан і перспективи”, 27-28 квітня 2010 р., М. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ». – 2010. – С. 101.
79. Рудак С.М. Проектування замірних дільниць вузлів обліку газу на основі вихрового ентропійного перетворювача / С.М. Рудак, С.І. Мельничук // Наука і вища освіта: тези доповідей учасників XVIII міжнародна наукова конференція студентів і молодих учених, м. Запоріжжя, 22-23 квітня 2010 р.: у 4 т. / Класичний приватний університет. – Запоріжжя: Вид-во КПУ, 2010. – Т.3. – С. 232 – 233.
80. Мельничук С.І. Дрейф нуля амплітуди первинного перетворювача при вимірюванні витрати за ентропійними оцінками шумів потоку / С.І. Мельничук, С.М. Рудак // Вимірювання витрати та кількості газу: збірник тез доповідей VII всеукраїнська науково-технічної конференція, 25-27 жовтня 2011 р. / За ред. С.А. Чеховського. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факел, 2011. – С. 96 –98.
81. Василик В.М. Розрахунок оцінок ентропії з використанням кореляційних функцій для інформаційних джерел з нормально розподіленими некорельованими станами / В.М. Василик, Я.М. Николайчук, С.І. Мельничук // Збірник наукових праць проблемно-наукової міжгалузевої конференції “Інформаційні проблеми комп’ютерних системи, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління” (ПНМК – 2012), 07-10 червня 2012 р., випуск №8. – Бучач –2012. – С.46 – 49.
82. Мельничук С.І. Цифрові реєстратори магнітного втручання первинних перетворювачів газу або води / С.І. Мельничук, І.З. Мануляк // Контроль і

- управління в складних системах (КУСС-2012) XI Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 9-11 жовтня 2012 р. – Вінниця: ВНТУ. – 2012. С. 76 – 77.
83. Мельничук С.І. Ідентифікація об'єктів за імовірнісними характеристиками фрагментів їх монохромних зображень / С.І Мельничук // XI міжнародна науково-практична конференція: Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2013), м. Дніпропетровськ, 20-22 листопада 2013 р. / Дніпропетровськ: ТОВ «Роял Принт», 2013. – С. 159 – 160.
84. Мануляк І.З. Оцінювання метрологічних характеристик первинних перетворювачів та інформаційних каналів цифрових систем за розподілом вимірювальних даних / І.З. Мануляк, С.І. Мельничук // Праці III-ї міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми інформатики та комп’ютерної техніки ПІКТ-2014”, 27-30 травня 2014 р., м. Чернівці, Чернівецький національний університет ім.Ю.Федьковича. – 2014. – С. 125 – 126.
85. Мельничук С.І. Застосування оцінок інформаційної ентропії при цифровому опрацюванні ширококутових акустичних сигналів в системах діагностування та контролю / С.І. Мельничук // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014) XI Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 14-16 жовтня 2014 р. – Вінниця: ВНТУ. – 2014. С. 54.
86. Мануляк І.З. Застосування статистичних оцінок при опрацюванні вимірювальних сигналів спотворених імпульсними завадами / І.З. Мануляк, С.І. Мельничук // Праці IV-ї міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми інформатики та комп’ютерної техніки ПІКТ-2015”, 26-29 травня 2015 р., м. Чернівці, Чернівецький національний університет ім.Ю.Федьковича. – 2015. – С. 109 – 111.

АНОТАЦІЇ

Мельничук С.І. Методи та програмно-апаратні засоби опрацювання сигналів з поліпараметричною інформаційною ентропією. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп’ютерні системи та компоненти. – Національний університет "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України, Львів, 2015.

У дисертації започатковано нові та розвинуто уже відомі теоретичні і методологічні засади в області створення нових ефективних технологій опрацювання сигналів у комп’ютерних системах, зокрема компонентах первинного перетворення інформації, цифрових компонентах реалізації обміну даними а також ідентифікації та діагностування у інформаційно-вимірювальних системах.

Запропоновано методи опрацювання ширококутових вимірювальних сигналів зі змінною інформаційною ентропією, що формуються в наслідок взаємодії контрольованого середовища і формувача випадкових сигналів за яким ентропія використовується як опосередкований параметр величини витрати; методи формування та опрацювання ширококутових сигналів, які ґрунтуються на маніпуляції реалізаціями випадкового процесу значення інформаційної ентропії амплітуд якого поставлено у відповідність до інформаційних символів бінарного повідомлення; проєкційний метод ідентифікації об’єктів, за якими побудова проєкцій здійснюється шляхом статистичного оцінювання значень варіативної інформаційної ентропії фрагментів матриць їх представлень а також метод опрацювання діагностичних сигналів, що ґрунтується на використанні імовірнісних представлень

послідовних фрагментів їх амплітуд для формування векторів інформативних ознак з подальшим кореляційним опрацюванням. Моделювання в обчислювальному експерименті, експериментальні дослідження та практичне впровадження розроблених цифрових засобів та алгоритмічно-програмних рішень підтвердили адекватність запропонованих підходів та ефективність розроблених методів.

Ключові слова: інформаційна ентропія, широкосмуговий сигнал, комп'ютерна система, інформаційно-вимірвальна система, первинний перетворювач, формування, опрацювання.

Melnychuk S.I. Methods and software and hardware signal processing of information polyparametric entropy. – In manuscript.

The thesis for Sc.D. (Doctor of Technical Science) degree of 05.13.05, specialty – Computer systems and components. – Lviv Polytechnic National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

The thesis launched new and advanced already known theoretical and methodological principles in the development of new efficient technologies for signal processing in computer systems, including primary components data convert, digital data exchange communications components implementation and identification and diagnosis of information and measurement systems.

In the study, methods of implementation gas flow meters proposed to use additional measurement information sources, random fluctuations of variable amplitude information entropy, which are generated by the measuring environment, including, at a flow generator and broadband measurement signals. This processing method insensitivity to zero drift signal amplitudes of the primary device. Investigated the frequency spectrum measurement signals and set the frequency spectrum band information flow noise of the medium, which are characterized by maximum entropy dependent changes in estimates of the value of the current signal flow that allowed to realize the optimization procedure processing measurement data limited the relevant portions of the spectrum. In order to create information-measuring system flow of gaseous media for standard calibration facilities developed appropriate structural solutions, algorithms and software. The analysis of existing information transfer methods possible to propose alternative approaches to the formation and digital processing of wideband signals in the data paths. In particular character representation of the information entropy values posts random signals when creating a statistical estimation and entropy values during processing, creates a number of advantages: efficient use of the frequency band of the data channel, simplifying the hardware and software, provide adequate immunity at low signal / noise ratios. First obtained characteristics of the developed method, which found an increase in speed signal processing, increased noise immunity at the same time complexity of computer systems and communication, as well as uniformly bandwidth usage compared to conventional correlation methods. Developed and structural concepts of digital imaging devices and processing of broadband signals with manipulated information entropy based on universal chip microcomputer. The investigation and analysis of digital signal processing techniques in computer systems, traditionally, allocating the informative part of the signal is realized on the basis of statistical methods, spectral and correlation analysis. Consider effective correlation methods, but they do not work for signals that do not have acceptable correlation properties. Digital processing system based on the analysis of amplitude, frequency, phase, etc. signals characteristics require significant computational

costs and allow us to estimate the characteristics of the overall signal. Proposed the use of new additional signal parameters, in particular, estimates of the information entropy. Developed projection methods for identifying objects on which to build projections realized by statistical estimation of the information entropy values pieces of binary matrices their representations, the processing method of diagnostic signals, based on the use of probabilistic representations of sequential fragments of their amplitudes. This approach yields a number of significant advantages, including: low dependence on the signal strength, insensitivity to zero drift amplitude of the primary device, simplifying the hardware and software. Modeling in computational experiments, experimental research and practical application of the developed digital tools and algorithmic software solutions confirmed the adequacy of the proposed approaches and the effectiveness of the developed methods.

Keywords: information entropy, wideband signal, computer system, information-measuring system, sensor, forming, processing.

Мельничук С.И. Методы и программно-аппаратные средства обработки сигналов с полипараметрической информационной энтропией. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – Компьютерные системы и компоненты. – Национальный университет "Львовская политехника" Министерства образования и науки Украины, Львов, 2015.

В диссертации предложено новые и развитого уже известные теоретические и методологические основы в области создания новых эффективных технологий обработки сигналов в компьютерных системах, в частности компонентах первичного преобразования информации, цифровых коммуникационных компонентах реализации обмена данными а также идентификации и диагностики в информационно-измерительных системах.

Предложены методы обработки широкополосных измерительных сигналов с переменной информационной энтропией, что формируются в результате взаимодействия контролируемой среды и формирователя сигналов по которому энтропия используется как параметр расхода; методы формирования и обработки широкополосных сигналов, основанные на манипуляции реализациями случайного процесса значение информационной энтропии которого поставлены в соответствие с символов бинарного сообщения; проекционный метод идентификации объектов, по которым построение проекций осуществляется путем статистического оценивания значений вариативной информационной энтропии фрагментов матриц их представлений а также метод обработки диагностических сигналов, основанный на использовании вероятностных представлений последовательных фрагментов их амплитуд для формирования векторов информативных признаков с последующим корреляционной обработкой. Моделирование в вычислительном эксперименте, экспериментальные исследования и практическое внедрение разработанных цифровых средств и алгоритмически-программных решений подтвердили адекватность предложенных подходов и эффективность разработанных методов.

Ключевые слова: информационная энтропия, широкополосный сигнал, компьютерная система, информационно-измерительная система, первичный преобразователь, формирование, обработка.

Підписано до друку 20.11.2015 р. Формат 60x90/16
Папір ксероксний. Цифр. Друк. Ум. друк. арк. 1,62
Наклад 100 шт. Зам. № 201.

Віддруковано з готового оригінал-макета ПП Курилюк В.Д.
м. Івано-Франківськ, вул. Вовчинецька, 227
Свідоцтво про державну реєстрацію серії ВОО № 454464
тел. 099/6684010; 097/9983846
vidavnitstvo@gmail.com