

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора
ПОЛОЖАСЕНКА Сергія Анатолійовича на дисертаційну роботу
ЗОРІНА Олександра Сергійовича «Моделі та методи адаптивного
виявлення сигналів на фоні негаусових завад в інформаційно-
вимірювальних системах», подану на здобуття наукового ступеня
доктора філософії з галузі знань 15 - Автоматизація та
приладобудування за спеціальністю 152 – «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

На експертизу представлено дисертаційну роботу, загальний обсяг якої складає 204 стор., у тому числі: 158 стор. основного тексту, містить 47 рисунків та 3 таблиці, список використаних джерел з 117 найменувань та 3 додатків на 12 сторінках.

Предметом дослідження є математичні моделі RZ-сигналів та негаусових випадкових величин на основі статистик вищих порядків, адаптований моментний критерій якості багатоальтернативної перевірки статистичних гіпотез, а також адаптивні алгоритми поліноміальної обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах (ІВС).

Дисертаційна робота ЗОРІНА Олександра Сергійовича виконувалась в Черкаському державному технологічному університеті в рамках науково-дослідних робіт: «Моделі, методи та засоби сумісного виявлення сигналів та оцінювання їх параметрів на фоні негаусових завад», номер державної реєстрації 0122U201835; «Методи адаптивного виявлення сигналів в умовах неповної визначеності негаусівських завад», номер державної реєстрації 0123U105373.

1. Ступінь актуальності обраної теми

Сучасні ІВС широко застосовуються у технічних, наукових та виробничих задачах для отримання, обробки та передавання інформації про стан досліджуваних об'єктів і процесів. Ефективність функціонування таких систем значною мірою визначається точністю оцінювання параметрів вимірювальних сигналів та надійністю їх виявлення у каналі зв'язку ІВС при функціонуванні на фоні випадкових завад. У більшості практичних задач вимірювальна інформація передається у вигляді послідовностей імпульсів, зокрема RZ-сигналів, які піддаються впливу різноманітних випадкових факторів, що призводить до спотворення інформації та ускладнює процес прийняття рішень.

Однією з ключових задач теорії ІВС є задача статистичної обробки сигналів, отриманих з каналу зв'язку, яка включає оцінювання параметрів випадкових процесів (ВП) та виявлення корисних сигналів. Під час передавання корисного сигналу каналом зв'язку на нього діють різноманітні дестабілізуючі завади, що призводить до спотворення його амплітудних і часових характеристик. У загальному випадку, спостережуваний процес на

виході каналу зв'язку представляє собою адитивну суміш корисного сигналу та завади.

При функціонуванні ІВС завади в каналі зв'язку часто мають негаусовий характер розподілу випадкової величини (ВВ), причиною цього можуть бути: імпульсні електромагнітні завади, нелінійні властивості електронних компонентів, а також складна структура сигналів і каналів передачі інформації. У таких умовах статистичні характеристики ВП можуть істотно відрізнятися від гаусової моделі, що проявляється у наявності асиметрії, підвищеного ексцесу та важких хвостів щільності розподілу ймовірностей.

Наявність негаусових завад призводить до того, що класичні методи виявлення, оптимальні для гаусових моделей, втрачають свою ефективність: зростають ймовірності помилок першого та другого роду. Особливої гостроти ця проблема набуває в умовах апріорної невизначеності, коли параметри завад змінюються в часі. У зв'язку з цим, **актуальною** науково-прикладною задачею є розробка моделей та методів адаптивного виявлення сигналів, що базуються на моментно-кумулянтних описах та поліноміальних алгоритмах обробки, здатних ефективно функціонувати на фоні негаусових завад.

2. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

У дисертаційній роботі ЗОРІНА О. С. розглянуто і вирішено науково-технічну задачу, мета якої полягає у підвищенні ефективності функціонування ІВС на фоні негаусових завад шляхом синтезу адаптивних поліноміальних алгоритмів виявлення дискретних RZ-сигналів на основі застосування моментно-кумулянтних моделей досліджуваних ВВ із формуванням адаптованого моментного критерію якості для багатоальтернативної перевірки статистичних гіпотез та поліноміальних розв'язувальних правил для синтезу ефективних методів і комп'ютерних засобів обробки сигналів.

В роботі продемонстровано розробку і розвиток нових методів математичного та комп'ютерного моделювання процесів виявлення RZ-сигналів в каналі зв'язку ІВС при адитивній взаємодії з негаусовими завадами різних типів і видів на основі застосування моментно-кумулянтних моделей, які надають можливість не тільки описати негаусові характеристики досліджуваних процесів, але і синтезувати алгоритми адаптивного виявлення RZ-сигналів, які забезпечують автоматичне корегування параметрів розв'язувальних правил, залежно від поточних значень параметрів завади в каналі зв'язку ІВС. Такий підхід дозволяє розробити нові методи обробки RZ-сигналів та випадкових процесів, що дозволило підвищити точність процесів виявлення сигналів в каналі зв'язку ІВС при врахуванні параметрів і характеристик негаусових процесів.

Зокрема, автором отримано такі основні наукові результати:

— Розроблено математичні моделі суміші RZ-сигналів та негаусових асиметричних, ексцесних і асиметрично-ексцесних випадкових величин на основі моментно-кумулянтного представлення, які, на відміну від існуючих моделей, враховують інформативні параметри вищих порядків та забезпечують

повноту опису досліджуваних випадкових процесів, що дозволило адаптувати моментний критерій якості для багатоальтернативної перевірки статистичних гіпотез та синтезувати поліноміальні розв'язувальні правила виявлення сигналів у каналах зв'язку ІВС.

— Запропоновано методи синтезу лінійних та нелінійних поліноміальних розв'язувальних правил адаптивного виявлення RZ-сигналів на фоні негаусових завад, які, на відміну від існуючих методів, орієнтованих на гаусові моделі завад, базуються на використанні статистик вищих порядків та оптимальні (за адаптованим моментним критерієм якості) для багатоальтернативної перевірки статистичних гіпотез, що забезпечує підвищення ефективності виявлення сигналів у системах зв'язку ІВС.

— Удосконалено моментний критерій якості перевірки статистичних гіпотез шляхом його адаптації для задач багатоальтернативного виявлення сигналів на основі використання моментів і кумулянтів вищих порядків, що дозволило підвищити точність прийняття рішень при обробці багаторівневих сигналів на фоні негаусових завад.

— Отримали подальший розвиток методи статистичної адаптивної обробки сигналів у каналах зв'язку інформаційно-вимірювальних систем, які базуються на використанні моментно-кумулянтного опису випадкових процесів та поліноміальних розв'язувальних правил, що дозволило підвищити ефективність виявлення сигналів у складних завадових умовах.

Автором отримано та опубліковано нові науково-обґрунтовані результати, які, у сукупності, розв'язують важливу наукову-прикладну задачу. Робота містить нові, раніше не захищені наукові положення.

Оформлення, мова і стиль викладення дисертації коректно висвітлюють одержані науково-практичні результати, які відповідають меті досліджень.

3. Практична цінність результатів роботи

Практичну цінність виконаних досліджень підтверджено наведеними в роботі результатами прикладного впровадження розроблених у дисертації моделей, методів та комп'ютерних засобів у алгоритмічне та програмне забезпечення систем статистичної обробки сигналів у каналах зв'язку ІВС.

Розроблені математичні моделі та методи дозволяють підвищити завадостійкість каналів зв'язку ІВС, що функціонують в умовах впливу завад із розподілами, відмінними від нормального. Синтезовані обчислювальні алгоритми забезпечують мінімізацію ймовірностей помилок першого та другого роду за рахунок адаптивного врахування моментно-кумулянтних характеристик (асиметрії та ексцесу) завад із розподілами, відмінними від нормального, у реальному часі.

Запропоновані адаптивні поліноміальні розв'язувальні правила характеризуються відносно низькою складністю практичної реалізації, що дозволяє інтегрувати їх у програмно-алгоритмічне забезпечення сучасних цифрових ІВС. При цьому їхня ефективність зростає при підвищенні степеню

поліному та врахуванні моментно-кумулянтних параметрів вищих порядків, що дозволяє адекватно врахувати характеристики негаусових ВП.

Створено комплекс програмних засобів у середовищі MATLAB/Simulink, який реалізує імітаційну модель каналу зв'язку ІВС із формуванням адитивної суміші RZ-сигналів та завад. Це дозволяє досліджувати ефективність синтезованих алгоритмів та може застосовуватися для проєктування і дослідження систем, що працюють у складних завадових умовах.

Результати дисертаційного дослідження ЗОРИНА О. С. безпосередньо пов'язано з виконанням двох зареєстрованих науково-дослідних робіт та впроваджені в освітній процес Черкаського державного технологічного університету, що підтверджує прикладну спрямованість роботи.

4. Достовірність отриманих результатів

Аналіз представленої дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок про високий ступінь достовірності отриманих автором результатів. Наукові положення та висновки ЗОРИНА О. С. базуються на фундаментальних засадах теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії цифрової обробки сигналів.

Автор використовує апарат моментно-кумулянтного опису (Розділи 2, 3) для адаптивного врахування моментних характеристик (асиметрії та ексцесу) завад, розподіл яких відрізняється від нормального закону. Синтез адаптивних поліноміальних розв'язувальних правил реалізовано шляхом застосування адаптованого моментного критерію якості для задач багатоальтернативного виявлення сигналів. Використання такого підходу надає можливість адекватно описати багаторівневий RZ-сигнал та алгоритмічно реалізувати адаптивне врахування параметрів негаусових ВП шляхом оцінки їх статистичних характеристик і подальшої підстановки цих значень у розв'язувальне правило. Це дозволило алгоритмам динамічно підлаштовуватися під зміну статистичних характеристик завадового середовища безпосередньо у каналах зв'язку ІВС.

Достовірність синтезованих алгоритмів підтверджено методами імітаційного моделювання у середовищі MATLAB/Simulink (Розділ 4). Отримані наукові результати і висновки перевірено порівнянням теоретичних положень з експериментальними даними, отриманими шляхом комп'ютерного моделювання.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на 15-ти міжнародних науково-практичних конференціях, форумах і семінарах та отримали підтримку науковців із даного напрямку досліджень.

5. Структура та зміст дисертаційного дослідження

Дисертаційна робота структурно складається зі вступу, чотирьох розділів із висновками, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

Вступ містить обґрунтування актуальності теми; визначення об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; опис наукової новизни та практичного значення отриманих результатів, а також відомості щодо апробації результатів та опублікованих праць.

У першому розділі проведено аналіз математичних моделей та методів виявлення сигналів у складних завадових умовах, зокрема при впливі завад, статистичні характеристики яких відрізняються від нормального закону розподілу. Розглянуто основні підходи до опису випадкових процесів.

Виявлено обмеження застосування класичних ймовірнісних критеріїв якості перевірки статистичних гіпотез при функціонуванні систем на фоні негаусових завад із вираженою асиметрією та ексцесом. Основні обмеження полягають у необхідності повної апіорної інформації про аналітичний вигляд щільності розподілу ймовірностей завади, яка на практиці часто є невідомою, що робить класичні підходи негнучкими до зміни характеристик негаусових завад, що перешкоджає їх ефективне використання в каналі зв'язку ІВС у реальному часі.

Обґрунтовано доцільність застосування моментно-кумулянтного представлення випадкових величин, що дозволяє адекватно описувати статистичні характеристики вищих порядків досліджуваних процесів.

У другому розділі обґрунтовано загальну структуру системи адаптивного виявлення сигналів та сумісного оцінювання їхніх параметрів в умовах апіорної невизначеності. Розроблено математичні моделі адитивної суміші RZ-сигналів та негаусових завад, що базуються на моментно-кумулянтному представленні випадкових величин для асиметричних, ексцесних і асиметрично-ексцесних типів розподілів.

Показано переваги використання статистик вищих порядків перед класичними методами, що ґрунтуються на щільностях ймовірності. Зокрема, такий підхід дозволяє обійти необхідність знання аналітичного виду щільності розподілу та забезпечує можливість побудови ефективних алгоритмів за обмеженої апіорної інформації. Сформовано метод сумісного оцінювання параметрів завад на основі методу моментів. Виконано адаптацію моментного критерію якості для задач багатоальтернативної перевірки статистичних гіпотез, що створило теоретичний фундамент для подальшого синтезу адаптивних поліноміальних розв'язувальних правил.

У третьому розділі, на основі розроблених моделей і адаптованого моментного критерію, виконано синтез обчислювальних алгоритмів виявлення RZ-сигналів на фоні асиметричних, ексцесних та асиметрично-ексцесних завад. Досліджено, що нелінійна обробка вибірових значень та врахування статистик вищих порядків (коефіцієнтів асиметрії та ексцесу) забезпечує підвищення ефективності виявлення сигналів. Це підтверджується зменшенням значень критерію якості та ймовірностей помилок першого і другого роду. Досліджено, що найбільша ефективність синтезованих поліноміальних розв'язувальних правил досягається при менших значеннях відношення сигнал/шум і граничних значеннях коефіцієнтів асиметрії та ексцесу для заданої області допустимих значень.

У четвертому розділі представлено програмну реалізацію запропонованих моделей та алгоритмів у середовищі MATLAB/Simulink. Комп'ютерне моделювання підтвердило прикладну спроможність розробленого алгоритмічного забезпечення для процедур адаптивного виявлення сигналів у

каналах зв'язку ІВС. Експериментальні дослідження засвідчили достовірність теоретичних положень дисертації.

Список використаних джерел налічує 117 найменування.

У додатках наведено: документ про впровадження результатів роботи (Додаток А); список наукових праць автора (Додаток Б); програмний код для генерації випадкових процесів із заданими статистичними характеристиками (Додаток В).

6. Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та опублікованих в роботах автора

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано у 21 науковій праці, серед яких: 1 стаття у науковому фаховому виданні України, що входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science (категорія «А»); 3 статті у наукових фахових виданнях України (категорія «Б»); 2 статті у закордонних періодичних виданнях, що індексуються у наукометричній базі Scopus, та 15 матеріалів доповідей у збірниках всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференцій, в тому числі 3 проіндексовані у наукометричній базі Scopus, що характеризує високий фаховий рівень результатів дисертаційної роботи.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи відображено в публікаціях рівномірно по розділах. Одночасно, вони відбивають пріоритети автора дисертації у розв'язанні наукових і прикладних задач обраного ним наукового напрямку досліджень.

Повнота відображення результатів дисертаційного дослідження і вимоги щодо кількості публікацій відповідає вимогам, які пред'являються до дисертацій присудження наукового ступеня доктора філософії з обраної спеціальності.

7. Рекомендації щодо використання результатів

Результати дисертаційного дослідження доцільно впроваджувати в організації та підприємства, які займаються розробкою, проєктуванням та технічним обслуговуванням засобів передачі даних у сучасних цифрових ІВС. Впровадження розроблених адаптивних поліноміальних алгоритмів дозволить підвищити достовірність виявлення сигналів безпосередньо у каналах зв'язку при впливі завад, статистичні характеристики яких відхиляються від нормального закону розподілу (зокрема за наявності асиметрії та ексцесу). Це забезпечить виконання високих вимог до точності та завадостійкості передачі інформації в каналах передачі даних, що безпосередньо сприятиме підвищенню загальної ефективності функціонування ІВС.

8. Відсутність порушення академічної доброчесності

Дисертація містить результати власних досліджень здобувача. Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях не виявлено. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на

відповідне джерело. Інші запозичення, виявлені в роботі, є загальноновживаними і не є плагіатом.

9. Зауваження до дисертаційної роботи

В якості зауважень до дисертаційної роботи слід вказати наступне.

1. У третьому розділі показано, що використання поліноміальних розв'язувальних правил другого та третього степенів дозволяє суттєво підвищити ефективність виявлення сигналів на фоні негаусових завад. Разом з тим, у роботі не наведено теоретичного обґрунтування межі доцільності подальшого збільшення степеню стохастичного полінома з точки зору співвідношення «алгоритмічна складність – ефективність виявлення».

2. Синтез адаптивних алгоритмів виявлення базується на процедурах поточного оцінювання моментних характеристик вищих порядків (асиметрії та ексцесу). При цьому у роботі не наведено рекомендацій щодо вибору оптимального обсягу аналізуючої вибірки, який би забезпечував необхідну точність адаптації при швидких змінах параметрів завадового середовища.

3. У дисертаційному дослідженні синтез алгоритмів виявлення RZ-сигналів орієнтовано на їх застосування у провідних лініях зв'язку ІВС. Проте, у роботі не розкрито: наскільки запропоновані поліноміальні правила є чутливими до специфічних спотворень, притаманних лініям різної довжини (наприклад, до частотних спотворень або згасання).

4. У четвертому розділі наведено результати імітаційного моделювання у середовищі MATLAB/Simulink, які підтверджують працездатність запропонованих рішень. Однак у роботі відсутня оцінка витрат обчислювальних ресурсів (наприклад, за кількістю операцій множення), що важливо при практичній реалізації алгоритмів на базі сучасних цифрових сигнальних процесорів (DSP) або ПЛІС.

5. У четвертому розділі аналіз ефективності синтезованих алгоритмів проведено переважно для умов низьких відношень сигнал/шум. Було б доцільно розширити дослідження на область середніх та високих значень відношення сигнал/шум, щоб чіткіше визначити межі енергетичного виграшу поліноміальної обробки порівняно з класичною лінійною.

6. В тексті дисертації наявні деякі стилістичні помилки, проте кількість яких цілком природна для друкованих робіт такого обсягу.

Слід вказати, що наведені зауваження **не знижують позитивного враження** від дисертації і, частково, є побажаннями, які варто враховувати у подальшій роботі.

10. Загальні висновки за дисертаційним дослідженням

Зміст дисертаційної роботи ЗОРІНА Олександра Сергійовича «Моделі та методи адаптивного виявлення сигналів на фоні негаусових завад в інформаційно-вимірювальних системах» є завершеною науково-дослідною

працею, у якій отримано нові наукові обґрунтовані результати. У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-практичну задачу, яка полягає у розробці та впровадженні методів адаптивного виявлення RZ - сигналів, що базуються на застосуванні поліноміальних розв'язувальних правил та адаптованого моментного критерію якості. Запропоновані підходи дозволяють суттєво підвищити достовірність та завадостійкість обробки інформації шляхом мінімізації ймовірностей помилок першого та другого роду при функціонуванні системи на фоні негаусових завад. Результати проведених здобувачем досліджень мають істотне значення для галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування», зокрема, для розвитку науково-технічних засад спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка». Вони створюють алгоритмічну базу для вдосконалення сучасних цифрових автоматизованих інформаційно-вимірвальних систем, засобів технічної діагностики та моніторингу, що функціонують у складних заводських середовищах.

Анотація дисертаційної роботи є узагальненим коротким викладом основного змісту дисертації та висвітлює її основні наукові положення, висновки та рекомендації. Текст дисертаційного дослідження розміщено на офіційному сайті Черкаського державного технологічного університету.

Отже, дисертаційна робота за ступенем актуальності обраної теми, обґрунтованості основних наукових положень, висновків і рекомендацій, що були сформульовані в роботі, їх новизни, повноти викладу в наукових публікаціях, відсутності порушень академічної доброчесності, цілком відповідає всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 із змінами, а її автор – ЗОРІН Олександр Сергійович – заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри комп'ютеризованих
систем та програмних технологій
Національного університету
«Одеська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Сергій ПОЛОЖАЄНКО

Підпис д.т.н., професора ПОЛОЖАЄНКА С. А. посвідчую.
Учений секретар Вченої ради
Національного університету
«Одеська політехніка», д.ф.н., професор

Лада ПРОКОПОВИЧ

