

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора

Базіла Костянтина Вікторовича

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»

1. Актуальність теми дослідження

Функціонування сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) безпосередньо залежить від надійності та завадостійкості каналів зв'язку, якими передаються вимірювальні дані. При функціонуванні такі канали піддаються інтенсивному впливу завад, що мають складну статистичну структуру. Традиційні підходи до обробки сигналів базуються на припущенні про нормальний (гаусовий) закон розподілу завад, проте практика показує, що реальні завади часто мають негаусовий закон розподілу, що суттєво знижує ефективність класичних лінійних методів обробки. Це обумовлює необхідність розробки нових моделей і алгоритмів, які базуються на використанні статистик вищих порядків, що дозволяє адекватно врахувати реальні властивості завадового середовища та забезпечити достовірність передачі вимірювальної інформації в каналах зв'язку ІВС. Використання моментно-кумулянтного представлення випадкових процесів при обробці сигналів в каналі зв'язку та нелінійних поліноміальних алгоритмів є перспективним шляхом до підвищення ефективності функціонування каналу зв'язку в ІВС в умовах апіорної невизначеності щодо виду закону розподілу завад.

Дисертаційна робота **Зоріна О.С.** присвячена розробці моделей та методів адаптивного виявлення **RZ-сигналів у каналах зв'язку ІВС**, що базуються на використанні поліноміальних розв'язувальних правил (РП) та адаптованого моментного критерію якості перевірки багатоальтернативних гіпотез. Застосування запропонованого підходу дозволяє зменшити суму ймовірностей помилок прийняття рішень, забезпечуючи високу достовірність прийнятої вимірювальної інформації каналом зв'язку, що є критично важливим для стабільної роботи сучасних автоматизованих ІВС.

Таким чином, тема дисертаційної роботи **ЗОРІНА Олександра Сергійовича**, у якій розглядаються нові математичні моделі досліджуваних процесів, методи та засоби математичного та комп'ютерного моделювання процесів виявлення RZ-сигналів на фоні негаусових завад, є **актуальною науковою задачею**.



2. Наукова новизна одержаних результатів

У дисертаційному дослідженні вирішено важливе науково-прикладне завдання підвищення ефективності виявлення сигналів, яке полягає у розробці моделей та методів **адаптивного виявлення сигналів у каналах зв'язку IBC** на фоні негаусових завад. Це досягнуто шляхом застосування моментно-кумулянтного представлення випадкових негаусових процесів, адаптації моментного критерію якості для багатоальтернативної перевірки гіпотез та синтезі адаптивних поліноміальних РП.

Зокрема, автором отримано такі наукові результати:

1. **Розроблено математичні моделі адитивної суміші трирівневих RZ-сигналів** та негаусових завад у каналах зв'язку IBC. На відміну від існуючих, ці моделі базуються на застосуванні статистик вищих порядків, що дозволило адекватно описати статистичні характеристики негаусових завад при обробці сигналів в каналах зв'язку IBC в умовах апіорної невизначеності.

2. **Методи синтезу адаптивних поліноміальних РП** у задачах багатоальтернативної перевірки гіпотез для виявлення RZ-сигналів у каналах зв'язку IBC на фоні негаусових завад. На відміну від класичних лінійних підходів, запропоновані методи базуються на використанні адаптованого моментного критерію. Це забезпечує врахування статистичних характеристик вищих порядків завадового середовища, що дозволяє підвищити достовірність прийнятої вимірювальної інформації при зміні параметрів каналу зв'язку в режимі реального часу.

3. **Адаптовано моментний критерій якості** до задач багатоальтернативної перевірки статистичних гіпотез, такий підхід дозволив математично описати багаторівневу структуру RZ-сигналу та здійснити синтез нелінійних РП, що забезпечують збільшення ефективності обробки RZ - сигналів при функціонуванні системи на фоні негаусових завад, в порівнянні з лінійними методами.

В роботі отримані та опубліковані нові наукові результати, які розв'язують важливу наукову-прикладну задачу обробки RZ-сигналів в каналі зв'язку в IBC.

3. Практична цінність та значимість результатів роботи

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці алгоритмів та програмно-алгоритмічних моделей комп'ютерного моделювання процесів обробки RZ-сигналів. Запропоновані рішення дозволяють враховувати характеристики негаусових завад при виявленні сигналів в каналі зв'язку IBC, що забезпечує підвищення достовірності прийнятої інформації в складних завадових умовах. Також запропоновані рішення забезпечують зниження ймовірностей помилок першого та другого роду порівняно з класичними лінійними підходами за рахунок врахування моментів вищих порядків.

Розроблені адаптивні поліноміальні алгоритми характеризуються простотою практичної реалізації та високою ефективністю обробки сигналів в умовах апіорної невизначеності щодо параметрів негаусових завад. Запропонована структура поліноміальної системи адаптивного виявлення RZ-сигналів та розроблені програмні засоби комп'ютерного моделювання дозволяють ефективно досліджувати процеси адаптивного виявлення сигналів у

каналах зв'язку ІВС при їх проєктуванні, що є критично важливим для створення надійних ІВС.

Практичне значення одержаних результатів підтверджено участю здобувача у виконанні двох науково-дослідних робіт:

- «Моделі, методи та засоби сумісного виявлення сигналів та оцінювання їх параметрів на фоні негаусових завад» (державна реєстрація № 0122U201835).

- Методи адаптивного виявлення сигналів в умовах неповної визначеності негаусівських завад» (державна реєстрація № 0123U105373).

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки Черкаського державного технологічного університету, а також можуть бути використані організаціями, що займаються розробкою сучасних інформаційно-вимірювальних систем, засобів моніторингу та технічної діагностики.

4. Достовірність отриманих результатів

Достовірність основних наукових положень, висновків та практичних рекомендацій дисертаційної роботи Зоріна О.С. забезпечується використанням теоретичних положень теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії обробки сигналів та методів статистичного синтезу алгоритмів виявлення сигналів.

Обґрунтованість результатів базується на застосуванні моментно-кумулянтного опису негаусових завад та використанні методу моментів для оцінювання невідомих параметрів негаусових розподілів. Отримані результати підтверджуються комп'ютерним моделюванням в середовищах MATLAB/Simulink, які продемонстрували ефективність синтезованих алгоритмів обробки RZ-сигналів на фоні негаусових завад в каналі зв'язку ІВС.

Теоретичні положення підвищення ефективності обробки RZ-сигналів на фоні негаусових завад в каналі зв'язку ІВС при застосуванні нелінійних поліноміальних РП узгоджуються з експериментальними даними, що підтверджує достовірність отриманих наукових результатів.

5. Структура та зміст дисертаційного дослідження

Представлена дисертаційна робота має логічну структуру, складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

Анотація до роботи висвітлює актуальність дослідження, сформульовану науково-практичну задачу, основні наукові та практичні результати. Також наведено відомості про виконані теоретичні дослідження й проведені експериментальні дослідження.

Вступ містить обґрунтування актуальності дисертаційної роботи; визначено об'єкт та предмет дослідження, мету та задачі дисертації, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, що висвітлені у 21 опублікованій праці за темою дисертаційного дослідження.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу літературних джерел задач математичного моделювання процесів виявлення сигналів на фоні

завад, методам опису випадкових процесів та методам статистичної обробки сигналів при використанні теорії перевірки статистичних гіпотез. Здійснено аналіз методів виявлення сигналів в ІВС, а також проаналізовано проблеми, що виникають при статистичній обробці випадкових процесів при застосуванні традиційних ймовірнісних критеріїв якості перевірки гіпотез, які базуються на щільності ймовірності випадкових процесів.

У роботі обґрунтовано доцільність використання альтернативного підходу до опису випадкових процесів, що базується на моментно-кумулянтному представленні випадкових величин. Такий підхід дозволяє врахувати негаусові властивості досліджуваних процесів (зокрема асиметрію та ексцес), і дозволяє уникнути труднощів, пов'язаних з описом випадкових процесів.

Другий розділ присвячено моделям та методам виявлення та сумісного оцінювання параметрів сигналів на фоні негаусових завад. Автором розроблено структуру адаптивного виявлення сигналів та розроблено математичні моделі негаусових випадкових процесів, що використовуються в задачах виявлення RZ-сигналів на фоні негаусових завад в ІВС.

У роботі запропоновано використати метод моментів для сумісного оцінювання параметрів негаусових завад. Адаптовано моментний критерій якості для багатоальтернативної перевірки статистичних гіпотез, що дозволило створити підґрунтя для розробки адаптивних алгоритмів виявлення багаторівневих RZ-сигналів в ІВС.

У **третьому розділі** проведено синтез та аналіз поліноміальних алгоритмів виявлення RZ-сигналів на фоні негаусових завад. На основі розроблених математичних моделей автором здійснено синтез розв'язувальних правил для випадків адитивної взаємодії сигналу з асиметричними, асиметрично-ексцесними та ексцесними негаусовими завадами.

У розділі наведено результати синтезу алгоритмів при степені поліному $S=1-3$ та проведено оцінку їхньої ефективності. На основі отриманих графічних залежностей автором доведено, що нелінійна поліноміальна обробка, яка враховує коефіцієнти асиметрії та ексцесу, дозволяє суттєво підвищити якість виявлення сигналів у порівнянні з класичними гаусовими моделями обробки сигналів.

Четвертий розділ дисертації присвячено комп'ютерному моделюванню процесів виявлення RZ-сигналів на фоні негаусових завад. У розділі реалізовано метод сумісного оцінювання та адаптивного виявлення RZ-сигналів в середовищі MATLAB/Simulink із застосуванням синтезованих поліноміальних РП.

Для проведення моделювання та перевірки отриманих результатів застосовано метод генерації негаусових випадкових величин, який базується на полігаусових моделях, що дозволило згенерувати негаусові характеристики завад з відмінними від нуля коефіцієнтами асиметрії та ексцесу. Це дозволило довести ефективність поліноміальної обробки RZ-сигналів та порівняти теоретичні положення з практичними.

Представлений розділ дисертаційної роботи є прикладним та експериментальним. Його результати підтверджують проведені теоретичні розробки щодо представлених математичних моментно-кумулянтних моделей та

методів синтезу поліноміальних алгоритмів адаптивного виявлення RZ-сигналів на фоні негаусових завад. Проведене комп'ютерне моделювання продемонструвало високу практичну ефективність запропонованих рішень для обробки RZ-сигналів в каналі зв'язку у складних завадових умовах.

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

Результати, отримані в дисертаційній роботі, відображено у **21 науковій праці**. Серед них - статті у провідних фахових виданнях України категорій «А» та «Б», а також наукові праці, що індексуються у міжнародній наукометричній базі **Scopus**. Крім того, результати досліджень представлені у формі доповідей та тез на міжнародних науково-технічних конференціях.

Вважаю, що рівень та кількість наукових публікацій здобувача є цілком достатніми і повністю відповідають вимогам, які пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 — «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка».

7. Відсутність порушення академічної доброчесності

Дисертаційна робота містить результати власних досліджень здобувача **Зоріна О.С.** Усі використані наукові ідеї, положення та результати інших авторів мають відповідні посилання на джерела. Ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації даних у роботі не виявлено. Дисертація та наукові публікації автора повністю відповідають встановленим вимогам щодо дотримання принципів академічної доброчесності.

8. Зауваження та недоліки дисертації щодо її оформлення і змісту

В якості зауважень до дисертаційної роботи слід вказати наступне.

1. У другому розділі було б доцільно надати розширене обґрунтування вибору саме тих типів негаусових моделей (асиметричних, асиметрично-ексцесних, та ексцесних), які були прийняті за основу для подальшого синтезу РП. Це дозволило б чіткіше окреслити межі застосування синтезованих алгоритмів у реальних каналах зв'язку ІВС.

2. Автор використовує моментно-кумулянтний опис для побудови математичних моделей негаусових процесів та RZ-сигналів. Варто було б надати аналіз точності опису розподілів випадкових процесів скінченною кількістю моментів/кумулянтів, що важливо для забезпечення заданої точності обробки сигналів.

3. У третьому розділі продемонстровано, що збільшення степені поліному S від 1 до 3 для РП сприяє суттєвому підвищенню точності виявлення біполярних RZ-сигналів. Проте в роботі недостатньо уваги приділено оцінюванню зростання обчислювальних витрат при збільшенні степені РП, що є критичним для функціонування адаптивних алгоритмів у реальному часі.

4. Автор розглядає адаптивні методи виявлення сигналів. Проте у роботі недостатньо висвітлено питання швидкодії адаптації: як швидко алгоритм

перераховує вагові коефіцієнти при різкій зміні статистичних характеристик завади (наприклад, при стрибкоподібній зміні коефіцієнта ексцесу).

5. При дослідженні біполярних RZ-сигналів основна увага приділена їх адаптивному виявленню на фоні негаусових завад. Було б корисно додатково оцінити вплив часового дрейфу RZ-сигналу на ефективність запропонованих поліноміальних методів обробки сигналів.

На мою думку, незважаючи на вказані зауваження, представлена дисертаційна робота є важливим науковим дослідженням та заслуговує на позитивну оцінку.

9. Загальні висновки за дисертаційним дослідженням

Розглянуте дисертаційне дослідження здобувача ЗОРІНА Олександра Сергійовича на тему **«Моделі та методи адаптивного виявлення сигналів на фоні негаусових завад в інформаційно – вимірювальних системах»** є завершеною науково-дослідною працею, яка містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати досліджень, що мають істотне значення для галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування», зокрема для розвитку та дослідження математичних і комп'ютерних моделей процесів обробки інформації в каналах зв'язку ІВС.

Таким чином, дисертаційна робота за ступенем актуальності обраної теми, основних наукових положень, висновків і рекомендацій, 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-вимірювальна техніка».

Рецензент:

професор кафедри приладобудування,
мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаського державного технологічного
університету, д.т.н., професор



Костянтин БАЗІЛО

Підпис д.т.н., професора **К.В.БАЗІЛА** засвідчую:
Учений секретар
Черкаського державного
технологічного університету,
к.т.н., доцент



Ірина МИРОНЕЦЬ