

## РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента

**Чепиноги Анатолія Володимировича**

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»

### Актуальність теми дослідження

Розвиток сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) потребує постійного вдосконалення методів статистичної обробки випадкових сигналів, що передаються каналами зв'язку в умовах інтенсивної завадової ситуації зі складною імовірнісною структурою. У багатьох практичних задачах виявлення сигналів у каналах зв'язку ІВС завади мають виражений негаусовий характер, що робить класичні лінійні методи опрацювання малоефективними та призводить до зростання ймовірності помилок при обробці даних.

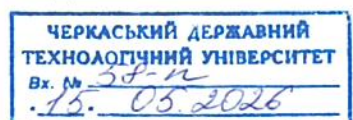
Проблемою, що залишається відкритою, є складність практичної реалізації оптимальних імовірнісних критеріїв для обробки сигналів у каналах зв'язку при роботі з негаусовими випадковими процесами. Традиційні підходи, засновані на припущенні про нормальний розподіл імовірності завади, втрачають свою ефективність в реальних завадових середовищах. Це обумовлює необхідність побудови нових математичних моделей і методів адаптивної обробки сигналів, здатних динамічно враховувати поточні статистичні характеристики завад безпосередньо в процесі функціонування каналу зв'язку ІВС.

Використання моментно-кумулянтного підходу у вигляді статистик вищих порядків до опису випадкових величин і сигналів з дискретним часом дозволяє забезпечити адекватне математичне представлення адитивної суміші RZ-сигналів і завад. Розробка методів адаптивного виявлення на основі поліноміальних розв'язувальних правил відкриває нові перспективи для підвищення завадостійкості каналів зв'язку ІВС при функціонуванні на тлі негаусових завад. Такий підхід забезпечує підвищену достовірність оброблення інформації при апріорній невизначеності щодо закону розподілу завад.

Таким чином, тема дисертаційної роботи **Зоріна О.С.**, присвячена розробці моделей та методів адаптивного виявлення сигналів у каналах зв'язку інформаційно-вимірювальних систем на основі моментно-кумулянтного представлення та поліноміальної обробки RZ-сигналів, є актуальною науковою задачею.

### Наукова новизна одержаних результатів

У дисертаційній роботі **Зоріна О.С.** розв'язано актуальне науково-прикладне завдання щодо підвищення ефективності функціонування каналів зв'язку ІВС шляхом розробки та впровадження нових моделей і методів



адаптивного виявлення сигналів на фоні негаусових завад. Теоретичним підґрунтям запропонованих рішень стало використання статистик вищих порядків (асиметрії та ексцесу) для опису випадкових сигналів, що дозволило адаптувати моментний критерій якості для задач багато-альтернативної перевірки гіпотез та синтезувати нелінійні поліноміальні алгоритми прийняття рішень.

**Зокрема автором отримано такі основні наукові результати:**

1. **Вперше розроблено математичні моделі адитивної суміші дискретних RZ-сигналів та негаусових асиметричних, ексцесних та асиметрично-ексцесних завад у каналах зв'язку на основі моментно-кумулянтного опису випадкових величин.** На відміну від існуючих, ці моделі дозволяють отримати адекватний статистичний опис процесів через кумулянти вищих порядків без необхідності знання повного закону розподілу, що створює основу для синтезу адаптивних систем виявлення сигналів на фоні негаусових завад.

2. **Адаптовано моментний критерій якості (критерій  $K_u$ ) для задач багато-альтернативної перевірки статистичних гіпотез.** На відміну від стандартних підходів до бінарного виявлення, адаптований критерій дозволяє ефективно обробляти сигнали з багаторівневою структурою (зокрема, тривірневі RZ-сигнали), враховуючи при цьому статистичні характеристики негаусових завад. Це забезпечує підвищення завадостійкості каналів зв'язку ІВС у складних негаусових середовищах за рахунок одночасного виявлення декількох станів сигналу з мінімальною імовірністю помилки прийняття рішення.

3. **Дістали подальший розвиток методи імітаційного моделювання процесів виявлення сигналів у каналах зв'язку ІВС із використанням середовища Matlab/Simulink.** Розроблені програмні модулі дозволяють проводити комплексний аналіз ефективності нелінійної обробки RZ-сигналів (зокрема через побудову ROC-кривих) при зміні параметрів негаусової завади.

Отримані **Зоріном О.С.** наукові результати в сукупності розв'язують важливу науково-прикладну задачу забезпечення достовірності передачі вимірної інформації в каналах зв'язку сучасних автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем.

### **Практична цінність та значимість результатів роботи**

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження **Зоріна О.С.** полягає у розробці алгоритмів та імітаційних моделей каналу зв'язку ІВС, що забезпечує адаптивну обробку RZ-сигналів при їх функціонуванні. Отримані результати дають можливість суттєво зменшити ймовірності помилок при виявленні RZ-сигналів на фоні негаусових завад завдяки врахуванню статистик вищих порядків (коефіцієнтів асиметрії та ексцесу), що забезпечує перевагу над класичними лінійними методами обробки. Розроблені адаптивні поліноміальні розв'язувальні правила (РП) характеризуються відносно низькою обчислювальною складністю, що дозволяє реалізовувати їх на сучасній мікропроцесорній базі ІВС для роботи в реальному масштабі часу. Запропонована структурна схема реалізації адаптивної системи виявлення RZ-сигналів на фоні негаусових завад та створені імітаційні моделі в середовищі



**Matlab/Simulink**, які дозволяють проводити глибокий аналіз процесів адаптивного виявлення RZ-сигналів у каналах зв'язку IBC, що є важливим для проектування надійних систем автоматизованого контролю та вимірювання.

Результати наукового дослідження були використані в науково-дослідних роботах : «Моделі, методи та засоби сумісного виявлення сигналів та оцінювання їх параметрів на фоні негаусових завад» (державна реєстрація № 0122U201835) та «Методи адаптивного виявлення сигналів в умовах неповної визначеності негаусівських завад» (державна реєстрація № 0123U105373). Результати роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки Черкаського державного технологічного університету.

### **Достовірність отриманих результатів**

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи **Зоріна О.С.** є належним чином обґрунтованими та підтвердженими завдяки коректному і аргументованому застосуванню математичного апарату теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії перевірки статистичних гіпотез та методів моментно-кумулянтного опису випадкових величин.

Достовірність отриманих результатів додатково підтверджена шляхом порівняння теоретичних висновків із результатами експериментальних досліджень, проведених шляхом імітаційного моделювання процесів адаптивного виявлення RZ-сигналів у каналах зв'язку IBC в середовищі **Matlab/Simulink**.

### **Структура та зміст дисертаційного дослідження**

Представлена дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг основного тексту дисертації відповідає вимогам до робіт на здобуття ступеня доктора філософії. Список літературних джерел налічує 117 найменувань. Основні результати роботи викладені у 21 науковій публікації.

У вступі наведено обґрунтування актуальності теми, визначено об'єкт, предмет, мету та методи дослідження. Сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані щодо апробації.

У **першому розділі** виконано аналіз задач математичного моделювання процесів виявлення сигналів на фоні завад в інформаційно-вимірювальних системах. Розглянуто проблеми, що виникають при роботі з негаусовими завадами, які мають виражену асиметрію та ексцес. Обґрунтовано доцільність застосування моментно-кумулянтного представлення випадкових величин замість традиційних імовірнісних підходів, що дозволяє уникнути труднощів, пов'язаних з описом законів розподілу на основі щільності за умови апіорної невизначеності.

У **другому розділі** розроблено математичні моделі адитивної суміші дискретних RZ-сигналів та негаусових завад у каналах зв'язку IBC. На відміну від класичних підходів, запропоновані моделі базуються на статистиках вищих порядків, що дозволяє адекватно описувати стан каналу зв'язку. На основі цих



моделей адаптовано моментний критерій якості для задач багато-альтернативної перевірки статистичних гіпотез, що є критично важливим для обробки тривірневої структури RZ-сигналу та негаусових завад.

**У третьому розділі** здійснено синтез адаптивних поліноміальних РП для виявлення сигналів у каналах зв'язку ІВС. Проведено порівняльний аналіз ефективності синтезованих алгоритмів із класичними лінійними методами обробки сигналів. Показано, що врахування коефіцієнтів асиметрії та ексцесу в структурі нелінійного РП дозволяє суттєво підвищити завадостійкість каналів зв'язку в умовах функціонування системи на фоні негаусових завад.

**У четвертому розділі**, проведено імітаційне моделювання процесів адаптивного виявлення сигналів у середовищі Matlab/Simulink. Представлено структурні схеми системи адаптивної обробки та результати моделювання у вигляді порівняльних осцилограм. Експериментально підтверджено працездатність розроблених методів адаптивного виявлення та показано збіжність отриманих результатів із теоретичними положеннями дисертації. Продemonстровано, що запропоновані алгоритми забезпечують високу достовірність адаптивної обробки адитивної суміші RZ-сигналів та негаусових завад.

**Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та опублікованих працях**

Наукові результати дисертаційної роботи **Зоріна О.С.** відображені у **21 науковій публікації**.

**Публікації за темою дисертації включають:**

**1 статтю** у фаховому виданні України категорії «А» », що входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science;

- **3 статті** у наукових фахових виданнях України категорії «Б»;

- **2 статті** у закордонних періодичних виданнях, які індексуються у міжнародній наукометричній базі **Scopus**;

- **15 тез доповідей** у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій, 3 з яких також проіндексовано у базі **Scopus**, що дозволило пройти апробацію основних положень дисертаційного дослідження.

Зміст опублікованих праць повністю відповідає основним положенням дисертаційного дослідження. Вважаю, що рівень і кількість наукових публікацій **Зоріна О.С.** цілком відповідають встановленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю **152 - «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**.

### **Відсутність порушення академічної доброчесності**

Дисертація містить результати власних досліджень здобувача. Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях не виявлено.

**Зауваження та недоліки дисертації щодо її оформлення і змісту**

В якості зауважень до дисертаційної роботи слід вказати таке:

1. Для забезпечення адаптивності алгоритмів у роботі використовується процедура сумісного оцінювання параметрів завади. Бажано було б надати більш детальний аналіз впливу статистичних похибок оцінювання коефіцієнтів асиметрії та ексцесу на ефективність поліноміального виявлення RZ-сигналів.

2. При дослідженні ефективності розв'язувальних правил показано, що збільшення степеня полінома дозволяє суттєво зменшити ймовірність помилок. Разом з тим, у роботі доцільно було б надати чіткі рекомендації щодо вибору степеня полінома для різних типів негаусових завад (наприклад, окремо для чисто асиметричних та суто ексцесних випадкових процесів).

3. В дисертаційній роботі при проведенні моделювання зміна кумулянтних коефіцієнтів відбувається в межах заданої області допустимих значень. Проте недостатньо висвітлено питання щодо точності генерації коефіцієнта асиметрії та ексцесу бігаусовим генератором у середовищі **Matlab/Simulink** при формуванні заводового середовища.

4. У четвертому розділі йдеться про можливість практичної реалізації алгоритмів на базі сучасних цифрових сигнальних процесорів (DSP). Проте в роботі не наведена кількісна оцінка часових витрат на обчислення розв'язувальної статистики при високій швидкості передачі даних у каналах зв'язку ІВС.

5. При моделюванні використовується фіксована довжина вибірки ( $n=150$ ). В роботі бажано було б надати аналіз того, як змінюється ефективність адаптивного виявлення при зміні обсягу вибірки як в більшу так і в меншу сторону.

6. У висновках до розділів наведені загальні результати досліджень, проте було б корисно надати більш конкретні рекомендації для інженерно-технічних працівників щодо апаратної реалізації на базі сучасних засобів цифрової обробки сигналів.

На мою думку, незважаючи на вказані зауваження, які не мають принципового характеру, представлена дисертаційна робота **Зоріна О.С.** є завершеним важливим науковим дослідженням та заслуговує на позитивну оцінку.

### **Загальні висновки за дисертаційним дослідженням**

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 роботою, що містить нові теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені результати. Отримані наукові положення мають важливе значення для галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування», зокрема у напрямі розвитку методів статистичної обробки сигналів у каналах зв'язку інформаційно-вимірювальних систем при функціонуванні на фоні негаусових завад.

Вважаю, що представлена до захисту дисертаційна робота за ступенем актуальності теми, основних наукових положень, їх новизни, повноти викладу в



наукових публікаціях, висновків і рекомендацій, відсутності порушень академічної доброчесності цілком відповідає 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:

кандидат технічних наук, доцент,  
декан факультету інформаційних  
технологій і систем,  
доцент кафедри інформаційної безпеки  
та комп'ютерної інженерії  
Черкаського державного технологічного  
університету



Анатолій ЧЕПИНОГА

Підпис к.т.н., доцента Анатолія ЧЕПИНОГИ засвідчую:  
Учений секретар  
Черкаського державного  
технологічного університету,  
к.т.н., доцент



Ірина МИРОНЕЦЬ