

## РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора

**Базіла Костянтина Вікторовича**

на дисертаційну роботу **СМІРНОВА Данііла Олексійовича**

«Математичні моделі, методи та засоби виявлення постійного сигналу на фоні негаусових корельованих завад» подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 - Інформаційні технології за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки»

### 1. Актуальність теми дослідження

У сучасних системах спостереження, діагностики, моніторингу, контролю та управління, які характеризуються зростаючою складністю та розширеними функціональними можливостями, системи виявлення сигналів є ключовими компонентами. Ці системи повинні ефективно обробляти інформацію, враховуючи вплив різноманітних завад, які часто мають негаусовий характер. Традиційні методи, засновані на класичних критеріях якості перевірки статистичних гіпотез, зазвичай передбачають гаусовий розподіл випадкових величин. Однак реальні процеси часто демонструють складнішу статистичну структуру, що вимагає розробки більш досконалих моделей та методів обробки сигналів.

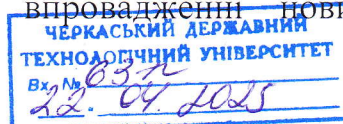
Негаусові завади, які виникають через дії дестабілізуючих факторів, таких як багатопримене поширення сигналів, проходження через неоднорідні середовища та флуктуації параметрів каналів зв'язку, значно ускладнюють застосування традиційних гаусових моделей. Це призводить до необхідності розробки нових математичних моделей та методів, які б враховували специфічні властивості негаусових випадкових процесів. Використання моментно-кумулянтних функцій вищих порядків та нелінійних алгоритмів обробки сигналів дозволяє підвищити ефективність виявлення сигналів на фоні негаусових завад.

Дисертаційна робота присвячена розробці новітніх математичних моделей та методів виявлення постійних сигналів на фоні корельованих негаусових завад, що базуються на поліноміальних розв'язувальних правилах та вдосконаленому моментному критерію якості перевірки статистичних гіпотез. Використання запропонованих методів дозволяє значно зменшити ймовірність помилок першого та другого роду розв'язувальних правил, що є важливим для підвищення ефективності функціонування сучасних технічних систем та створення алгоритмічних основ і комп'ютерних засобів їх реалізації.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Д.О.Смірнова, у якій розглядаються нові математичні моделі досліджуваних процесів, методи та засоби математичного та комп'ютерного моделювання процесів виявлення сигналів на фоні корельованих негаусових завад, є **актуальною**.

### 2. Наукова новизна одержаних результатів

У рамках дисертаційного дослідження вирішено важливе науково-прикладне завдання, яке полягає у розробці та впровадженні нових





математичних моделей та методів виявлення сигналів на фоні корельованих негаусових завад. Це досягається за допомогою застосування статистик вищих порядків для моментно-кумулянтного опису випадкових процесів, розробки модифікованого моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез та синтезу поліноміальних розв'язувальних правил, що сприяє створенню ефективних методів і комп'ютерних засобів обробки даних.

Зокрема автором отримано такі основні наукові результати дисертаційного дослідження:

1. математичні моделі корельованих негаусових асиметричних, ексцесних та асиметрично-ексцесних випадкових величин, що описують адитивну взаємодію сигналів і завад на основі одновимірного та двовимірного моментно-кумулянтного представлення досліджуваних процесів, що дозволило розширити спектр розв'язуваних задач та модифікувати моментний критерій якості перевірки статистичних гіпотез для побудови поліноміальних розв'язувальних правил виявлення сигналів в складних завадових умовах;
2. метод побудови поліноміальних стохастичних розв'язувальних правил виявлення постійних сигналів на фоні корельованих негаусових асиметричних, ексцесних та асиметрично-ексцесних завад, оптимальних за модифікованим моментним критерієм якості перевірки статистичних гіпотез, що дозволило підвищити якість виявлення сигналів в системах контролю, діагностики та моніторингу;
3. удосконалено моментний критерій якості верхньої границі ймовірностей помилок перевірки статистичних гіпотез із врахуванням сумісних моментів та кумулянтів вищих порядків для побудови поліноміальних методів виявлення сигналів на фоні корельованих негаусових завад, що дозволило забезпечити підвищення точності обробки сигналів в комп'ютеризованих системах;
4. удосконалено метод генерації корельованих негаусових випадкових величин на основі полігаусових моделей та застосуванні сумісних моментів та кумулянтів для представлення статистичних зв'язків досліджуваних процесів, що дозволяє проводити аналіз впливу параметрів кореляції та статистик вищих порядків на точність обробки сигналів.

В роботі отримані та опубліковані нові наукові результати, які розв'язують важливу наукову-прикладну задачу.

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

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці методів та інструментальних засобів моделювання, які дають можливість синтезувати нелінійні алгоритми обробки сигналів на фоні корельованих негаусових завад з меншими ймовірностями помилок першого і другого роду у порівнянні з відомими підходами. Розроблені поліноміальні розв'язувальні правила характеризуються своєю не складною практичною реалізацією і високою ефективністю при врахуванні параметрів корельованих негаусових завад.



Запропонована практична реалізація поліноміальної системи виявлення сигналів у вигляді структурної схеми та програмні засоби комп'ютерного моделювання процесів виявлення сигналів дозволяють ефективно розв'язувати широкий спектр задач у проектуванні систем діагностики, контролю та управління.

Практичне значення одержаних результатів наукового дослідження підтверджено участю здобувача у виконанні двох науково-дослідних робіт «Моделі, методи та засоби сумісного виявлення сигналів та оцінювання їх параметрів на фоні негаусових завад» (номер державної реєстрації 0122U201835) та «Обчислювальні методи визначення доплерівського зсуву частоти гармонічного сигналу при негаусових завадах» (номер державної реєстрації 0121U114029). Окрім того, отримані в дисертаційній роботі результати впроваджені в навчальний процес на кафедрі робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки Черкаського державного технологічного університету.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в компаніях та організаціях, що займаються проектуванням та виготовленням сучасних інформаційно-вимірювальних систем, систем діагностики, моніторингу та контролю.

#### **4. Достовірність отриманих результатів**

Головні наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи достатньою мірою обґрунтовані, підтверджуються обґрунтованим та коректним використанням математичного апарату математичної статистики, теорії ймовірності, теорії обробки сигналів та перевірки статистичних гіпотез, методів побудови комп'ютерних засобів моделювання. Крім того, отримані наукові результати і висновки перевірено порівнянням теоретичних положень з експериментальними даними, які повністю узгоджуються з загальновизнаними методологічними засадами і концепціями.

#### **5. Структура та зміст дисертаційного дослідження**

Представлена дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складається з 217 стор., у тому числі 155 стор. основного тексту, 50 рисунків, 6 таблиць, списку використаних джерел з 122 найменувань.

Анотація до роботи містить актуальність дослідження, поставлену науково-практичну задачу та основні наукові і практичні результати, зазначено також, які теоретичні дослідження та експерименти були проведені.

**Вступ** містить обґрунтування актуальності дисертаційної роботи; об'єкт та предмет дослідження, мету та задачі дисертації, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, опубліковані праці за тематикою дисертаційного дослідження. Також проаналізовано існуючий стан досліджень в рамках обраної теми, внесок зарубіжних та вітчизняних вчених.

**Перший розділ** дисертаційної роботи присвячено аналізу літературних



джерел щодо задач виявлення сигналів на фоні завад, застосуванню математичних моделей опису випадкових процесів та методів статистичної обробки сигналів при використанні загальної теорії перевірки статистичних гіпотез. Проведено дослідження щодо проблематики застосування математичних моделей опису випадкових процесів і методів виявлення сигналів при адитивній взаємодії з корельованими негаусовими завадами. Здійснено огляд типових задач виявлення сигналів у комп'ютеризованих інформаційних системах, а також проаналізовано проблеми, що виникають при статистичному аналізі таких процесів із застосуванням традиційних ймовірнісних критеріїв якості перевірки гіпотез, які базуються на щільності ймовірності випадкових процесів.

У дослідженні обґрунтовано доцільність використання альтернативного підходу, що базується на моментно-кумулянтному описі випадкових величин. Такий підхід дозволяє точніше враховувати як негаусові властивості досліджуваних процесів, так і їхню кореляційну структуру. В дисертаційній роботі показано, що реалізація запропонованого підходу вимагає проведення додаткових досліджень, спрямованих на створення нових математичних моделей корельованих негаусових процесів (як одновимірних, так і двовимірних) на основі моментно-кумулянтного опису випадкових величин, а також вдосконалення методів обробки сигналів для підвищення ефективності систем виявлення.

У **другому розділі** дисертації показано, що задача обробки сигналів на фоні завад має важливе значення для широкого кола прикладних задач і є складною з точки зору статистичного аналізу. В роботі показано, що для оптимального виявлення сигналів використовується добре відомий підхід, який базується на порівнянні відношення правдоподібності з тим чи іншим порогом, значення якого обирається у відповідності до заданого критерію якості перевірки статистичних гіпотез. Однак зазначено, що практична ефективність такого підходу суттєво знижується при застосуванні корельованих негаусових моделей випадкових процесів через складність застосування відповідних щільностей розподілу.

У роботі запропоновано інший підхід, заснований на використанні моментів і кумулянтів, що дозволяє здійснювати опис випадкових процесів із заданою точністю без потреби у знанні повного ймовірнісного розподілу. Розроблено математичні моделі одновимірних і двовимірних негаусових випадкових величин, які дали змогу суттєво розширити клас досліджуваних процесів і побудувати математичні моделі з урахуванням таких параметрів негаусових процесів, як коефіцієнти асиметрії та ексцесу, що стало підґрунтям для розробки модифікованого моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез і на його основі створення поліноміальних алгоритмів виявлення сигналів на фоні корельованих негаусових завад.

У **третьому розділі** дисертації на основі розроблених моментно-кумулянтних математичних моделей випадкових процесів та вдосконаленого моментного критерію якості перевірки гіпотез проведено синтез поліноміальних розв'язувальних правил для виявлення постійного сигналу при адитивній



взаємодії корельованих асиметричних, ексцесних і асиметрично-ексцесних негаусових завад. Проведена оцінка ефективності запропонованих нелінійних та лінійних розв'язувальних правил при різних кореляційних функціях та їхніх параметрів, впливі характеристик негаусових завад.

В даному розділі дисертаційної роботи показано, що нелінійна обробка досліджуваних випадкових процесів та врахування параметрів негаусових процесів на прикладі врахування коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, дозволяє значно підвищити ефективність виявлення сигналів у порівнянні з відомими результатами при застосуванні широко вживаних гаусових моделей випадкових величин.

В роботі наведений синтез поліноміальних алгоритмів виявлення сигналів при степені поліному  $s=1-3$ , наведений аналіз отриманих результатів, який представлено графіками та діаграмами. Наведені висновки, які дають можливість встановити основні залежності щодо збільшення ефективності поліноміальної обробки сигналів у порівнянні з відомими результатами.

**Четвертий розділ** дисертації присвячено застосуванню комп'ютерного моделювання для дослідження процесів виявлення сигналів на фоні корельованих негаусових завад. У розділі описано структуру програмного комплексу, який призначений для моделювання процесів виявлення сигналів на фоні різних типів завад, а також структурну схему виявлення постійного сигналу із застосуванням поліноміальних розв'язувальних правил.

Для проведення моделювання отриманих в дисертації результатів запропоновано вдосконалення методу генерації корельованих негаусових випадкових величин на основі полігаусових багатовимірних моделей, застосування яких дало можливість не тільки описати степінь негаусовості досліджуваних випадкових процесів, але і їхні кореляційні властивості. Такий підхід дав можливість оцінити вплив статистичних зв'язків досліджуваних випадкових величин та сформулювати висновки щодо якості опрацювання сигналів.

Представлений розділ дисертаційної роботи є прикладним та експериментальним, результати якого підтверджують проведені теоретичні розробки щодо представлених математичних моментно-кумулянтних моделей досліджуваних випадкових процесів та методів синтезу поліноміальних алгоритмів виявлення сигналів на фоні корельованих негаусових завад. Проведене комп'ютерне моделювання продемонструвало високу практичну ефективність запропонованих алгоритмів для процедур виявлення сигналів 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 в 12 наукових працях, в тому числі в 3 статтях у фахових виданнях України категорії «Б», 2 статтях в іноземних виданнях, які індексуються в наукометричній базі Scopus, 7



тезах міжнародних науково-технічних конференцій, в тому числі проіндексованих в наукометричній базі Scopus.

Вважаю, рівень та кількість наукових публікацій здобувача цілком достатнім і відповідає вимогам, які пред'являються до дисертацій присудження наукового ступеня доктора філософії з обраної спеціальності.

## **7. Відсутність порушення академічної доброчесності**

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

## **8. Зауваження та недоліки дисертації щодо її оформлення і змісту**

В якості зауважень до дисертаційної роботи слід вказати наступне.

1. В дисертаційній роботі було б доцільно більше приділити уваги обґрунтуванню необхідності побудови математичних моделей негаусових випадкових процесів різних типів і видів, які представлені в таблиці 3.1. – «Класифікація близьких до гаусових випадкових величин».
2. В роботі представлені математичні моделі корельованих негаусових випадкових величин на основі одновимірного та двовимірного моментно-кумулянтного представлення досліджуваних процесів. В роботі не наводиться достатнього обґрунтування щодо вибору такого представлення для опису випадкових процесів.
3. В третьому розділі дисертації продемонстровано, що збільшення степеня стохастичного полінома розв'язувальних правил призводить до зменшення ймовірностей помилок першого і другого роду. Разом з тим не сказано, чи існують обмеження на степінь поліному розв'язувальних правил і чим вони визначаються?
4. В другому розділі дисертації на стор. 86 сказано, що «...коефіцієнт асиметрії  $\gamma_3$ , який не може приймати довільні значення, і для даного типу завад належить наступній області допустимих значень...». Разом з тим не достатньо обґрунтовано, чому для даного типу асиметричних негаусових завад даний параметри не може перевищувати значення  $\mp\sqrt{2}$ .
5. У виразі (2.20) наведено поліноміальне розв'язувальне правило, яке порівнюється з нульовим значенням для прийняття відповідної гіпотези  $H_0$  або  $H_1$ . Бажано було б детальніше обґрунтувати вибір такого порогового значення.
6. У представленому моделюванні переважно розглядалися негаусові завади з параметрами асиметрії та ексцесу. Було б доцільно розширити дослідження і на інші типи реалістичних завад (наприклад, зі зміщеними модами), що дозволило б краще оцінити універсальність розроблених алгоритмів у практичних сценаріях.

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 СМІРНОВА Данііла Олексійовича на тему «Математичні моделі, методи та засоби виявлення постійного сигналу на фоні негаусових корельованих завад» є завершеною науково-дослідною працею, яка містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати досліджень, що мають істотне значення для галузі знань 12 «Інформаційні технології», зокрема для розвитку та дослідження математичних і комп'ютерних моделей процесів і систем і створення алгоритмічних основ і комп'ютерних засобів їх реалізації.

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 СМІРНОВ Данііл Олексійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 — «Комп'ютерні науки».

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.БАЗІЛО засвідчую:

Учений секретар  
Черкаського державного  
технологічного університету,  
к.т.н., доцент



**Ірина МИРОНЕЦЬ**