



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

президентка Національного університету  
«Київський авіаційний інститут»

Ксенія СЕМЕНОВА

2026 року

### **ВИСНОВОК**

**Національного університету «Київський авіаційний інститут» (далі – КАІ)  
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів  
дисертації Бондарева Олександра Сергійовича на тему «Методи  
підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та  
навігації для безпілотних авіаційних систем», поданої на здобуття ступеня  
доктора філософії з галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»  
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

### **Витяг**

із протоколу № 19 розширеного засідання  
кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ  
від 01 червня 2026 року

**Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники кафедри  
телекомунікаційних та радіоелектронних систем:**

Гнатюк Віктор Олександрович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри.  
Прокопенко Ігор Григорович – д.т.н., проф., професор кафедри.  
Конахович Георгій Філімонович – д.т.н., проф., професор кафедри.  
Одарченко Роман Сергійович – д.т.н., проф., професор кафедри.  
Соломенцев Олександр Васильович – д.т.н., проф., професор кафедри.  
Голубничий Олексій Георгійович – д.т.н., проф., професор кафедри.  
Заліський Максим Юрійович – д.т.н., проф., завідувач кафедри  
електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей.  
Щербина Ольга Алімівна – д.т.н., проф., професор кафедри електроніки,  
робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей.  
Антонов Веніамін Валерійович – к.т.н., доц., доцент кафедри.  
Бахтіяров Денис Ілшатович – к.т.н., доц., доцент кафедри.  
Зуєв Олексій Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри.  
Климчук Володимир Павлович – к.т.н., доц., професор кафедри.  
Петрова Юлія Валеріївна – к.т.н., доц., доцент кафедри.  
Осіпчук Аліна Олександрівна – к.т.н., доц., доцент кафедри.  
Малоед Марина Миколаївна – к.т.н., доц., доцент кафедри.  
Тараненко Анатолій Григорович – к.т.н., доц., доцент кафедри.  
Пузиренко Олександр Юрійович – к.т.н., доцент кафедри.

Яшанов Іван Михайлович – к.т.н., доцент кафедри.

#### **Порядок денний:**

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ Бондарева Олександра Сергійовича на тему «Методи підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем», що затверджена на засіданні Вченої ради Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій КАІ (протокол № 5 від 17 листопада 2022 року), поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Науковий керівник – д.т.н., проф., завідувач кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей КАІ Заліський Максим Юрійович.

Дисертація виконувалася на кафедрі телекомунікаційних та радіоелектронних систем факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій КАІ. Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій КАІ (протокол № 5 від 17 листопада 2022 року).

#### **Виступили:**

Доповідач Бондарев Олександр Сергійович представив результати свого дослідження, обґрунтувавши актуальність обраної теми, мету, завдання, методи дослідження, охарактеризувавши об'єкт та предмет дисертаційного дослідження, виклав основні наукові положення та висновки, що виносяться на захист, вказав науково-практичну значимість роботи, зазначив про можливості майбутнього впровадження результатів дослідження на підприємствах телекомунікаційної та радіотехнічної галузі.

Автором проведено аналіз сучасних систем супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), а також досліджено особливості функціонування комунікаційно-навігаційних систем БпАК в умовах зовнішніх завад, деградації сигналів і навмисних інформаційних впливів. Автором систематизовано основні фактори, що впливають на ефективність функціонування безпілотних авіаційних систем, зокрема параметри якості каналів зв'язку, затримки, джитер, втрати пакетів, доступність каналу та їх вплив на актуальність навігаційної інформації, точність позиціонування та стійкість керування.

Автор дійшов висновку, що сучасні безпілотні авіаційні комплекси критично залежать від супутникової навігації (GNSS), інерціальних систем навігації (INS) та супутникових каналів зв'язку (SATCOM). При цьому більшість існуючих підходів до оцінювання ефективності систем зв'язку та навігації базуються на роздільному аналізі окремих підсистем і не враховують комплексного взаємозв'язку між якістю зв'язку, актуальністю навігаційних даних, похибкою позиціонування та стійкістю керування БпАК. Встановлено, що особливу небезпеку для сучасних безпілотних систем становлять GNSS spoofing та jamming атаки, які можуть призводити до прихованого спотворення координат, втрати навігаційної достовірності та відхилення БпАК від заданого маршруту. У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення комплексних моделей і методів оцінювання ефективності функціонування супутниково-орієнтованих систем зв'язку та навігації, які

враховують як технічні параметри каналів зв'язку, так і характеристики навігаційної безпеки.

Автором вперше розроблено комплексну модель оцінки ефективності системи зв'язку та навігації безпілотних авіаційних комплексів, яка враховує множинну параметрів якості зв'язку, зокрема затримку, джитер, втрати пакетів, доступність каналу та механізми повторних передач, а також їх вплив на динамічну точність навігації та стійкість керування БпАК. Запропонована модель дозволяє здійснювати багатокритеріальне оцінювання ефективності комунікаційно-навігаційної системи та виконувати її оптимізацію в умовах ризику втрати навігації.

Також автором вперше розроблено метод виявлення та нівелювання впливу підміни координат в умовах GNSS spoofing атак, який, на відміну від існуючих підходів, базується на поетапному аналізі GNSS та INS даних, фазових характеристик сигналу, геоеталонній перевірці координат та активній перевірці джерела сигналу за допомогою spoof trap механізму. Запропонований метод дозволяє більш оперативно виявляти навігаційні атаки та мінімізувати відхилення БпАК від цільового маршруту.

Удосконалено метод переходу на інерціальну систему навігації шляхом оперативного виявлення недостовірних координат, використання FSM-моделі переходів між режимами роботи, компенсації INS-дрейфу та адаптивного повернення до нормального режиму функціонування. Крім того, запропоновано алгоритм вибору оптимальної INS-системи з урахуванням точності, автономності, обчислювальної складності, енергоспоживання та ресурсних обмежень.

Автором представлено алгоритмічну та програмну реалізацію запропонованих методів, зокрема вебзастосунок для комплексної оцінки ефективності систем зв'язку та навігації БпАК, а також імітаційну модель досліджуваних процесів, що дозволяє проводити оцінювання ефективності функціонування безпілотних авіаційних систем у різних сценаріях застосування.

Структура та обсяг дисертації зумовлена метою і логікою дослідження та складається з анотації державною та англійською мовами, робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 165 сторінок друкованого тексту, у тому числі містить 24 рисунки та 12 таблиць. Список використаних джерел містить 65 найменування.

Після закінчення презентації Бондарева Олександра Сергійовича присутніми на захисті фахівцями були поставлені наступні запитання:

#### **Запитання до здобувача:**

**1. Одарченко Роман Сергійович, д.т.н., проф., професор кафедри.**

**Запитання 1:** Як зв'язок впливає на сталість системи супутникової навігації?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Зв'язок впливає через затримку, джитер, втрати пакетів, доступність каналу та повторні передачі. Якщо канал деградує, навігаційні дані або поправки надходять із запізненням, збільшується Age of Information, зменшується частота коректних оновлень фільтра, зростає похибка позиціювання і, як наслідок, знижується стійкість керування БпЛА.

**Запитання 2:** На які параметри функціонування впливають розроблені методи?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Розроблені методи впливають на точність позиціонування, навігаційну достовірність, своєчасність виявлення spoofing-атаки, швидкість переходу на INS, зменшення відхилення від маршруту, стійкість керування, ризик втрати керованості та загальну ефективність функціонування БпАК.

**Запитання 3:** Для кого розроблено веб-застосунок?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Веб-застосунок розроблено насамперед для виробників і розробників БпАК, які можуть задавати параметри супутникового каналу, навігаційної підсистеми, фільтрації та характеристик БпАК, а потім отримувати інтегральну оцінку ефективності системи. Його також можна використовувати на етапі проєктування, порівняння конфігурацій і вибору оптимальних технічних рішень.

**4. Гнатюк Віктор Олександрович**, к.т.н., доцент, завідувач кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ.

**Запитання:** Чим комплексна модель краща за існуючі?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Вона не оцінює зв'язок, навігацію і керування окремо, а поєднує їх в одну причинно-наслідкову модель. Тобто можна простежити, як погіршення каналу зв'язку впливає на актуальність навігаційних даних, роботу фільтра, похибку позиціонування і стійкість керування. Це дає можливість не лише аналізувати, а й оптимізувати систему.

**5. Климчук Володимир Павлович** – к.т.н., доц., професор кафедри;

**Запитання:** Які параметри впливають на параметри навігаційної системи?

**Відповідь:** Дякую за запитання. На навігаційну систему впливають параметри якості зв'язку: затримка, джитер, втрати пакетів, доступність каналу та механізми повторної передачі. Вони визначають вік навігаційної інформації, частоту й коректність оновлень у фільтрі, а далі — похибку позиціонування та стійкість керування.

**6. Конахович Георгій Філімонович**, д.т.н., проф., професор кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ.

**Запитання:** Який основний результат дисертації і логіка наукової новизни?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Основний результат - комплексний підхід до підвищення ефективності каналів супутникового зв'язку та навігації БпАК. Логіка така: перший результат створює модель оцінки ефективності системи; другий - дає метод виявлення spoofing і нівелювання підміни координат; третій - забезпечує перехід на INS і вибір оптимальної INS-системи з урахуванням ефективності, складності та бюджету. Разом ці результати формують єдину логіку: оцінити систему, виявити загрозу, перейти на резервну навігацію і зберегти керованість.

Після відповідей на запитання виступили:

**Науковий керівник** – д.т.н., проф., завідувач кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей КАІ Заліський Максим Юрійович.

**Заліський Максим Юрійович:** У роботі належним чином обґрунтовано актуальність обраної тематики дослідження, визначено коло завдань, необхідних для досягнення поставленої мети, та відображено результати їх виконання в межах проведеного наукового пошуку.

Аспірант у повному обсязі реалізував індивідуальний план наукової діяльності та виконав індивідуальний навчальний план. Підготовлена дисертаційна робота відповідає встановленим вимогам і може бути подана до захисту. У ході дослідження було опрацьовано значний масив різнопланових джерел і матеріалів, а також підготовлено достатню кількість наукових публікацій, що підтверджують обґрунтованість сформульованих висновків та врахування сучасного міжнародного досвіду за тематикою дослідження.

Під час виконання наукової роботи здобувач виявив високий рівень наукової підготовки, належну дослідницьку компетентність і здатність самостійно розв'язувати складні наукові завдання. Здобувач систематично працює над підвищенням власного освітнього та професійного рівня, активно долучається до науково-дослідної діяльності, бере участь у виконанні наукових проєктів, має наукові публікації та результати апробації досліджень на наукових конференціях.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка націлена на вирішення актуальної наукової задачі, що відповідає спеціальності галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», а її автор, Бондарев Олександр Сергійович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії, на підставі Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, який затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

**Рецензент** - к.т.н., доц., доцент кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ Петрова Юлія Валеріївна

**Петрова Юлія Валеріївна:**

Дисертаційна робота Бондарева О. С. присвячена актуальній науково-прикладній проблемі підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем. Особливу увагу в роботі приділено питанням забезпечення безпіотної авіаційної системи навігаційною інформацією в умовах зовнішніх завад та навмисних інформаційних впливів.

Наукову цінність становлять запропоновані автором комплексна модель оцінювання ефективності комунікаційно-навігаційних систем, метод виявлення GNSS spoofing-атак та удосконалений підхід до переходу на інерціальну систему навігації.

Отримані результати характеризуються належним рівнем наукової новизни, є обґрунтованими та підтвердженими результатами моделювання. Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих рішень під час розроблення та модернізації безпілотних авіаційних систем.

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам до оформлення дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, містить наукову новизну, практичну значимість та є актуальною в умовах сьогодення.

**Рецензент-** д.т.н., проф., професор кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей Щербина Ольга Алімівна.

**Щербина Ольга Алімівна:** Представлена сьогодні дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено важливе завдання підвищення ефективності функціонування систем супутникового зв'язку та навігації безпілотних авіаційних комплексів.

Автором проведено ґрунтовний аналіз сучасного стану радіотехнічних і навігаційних технологій, визначено основні фактори, що впливають на якість функціонування безпілотних систем, та запропоновано ефективні шляхи їх удосконалення.

Позитивно слід відзначити комплексний підхід до оцінювання впливу параметрів каналів зв'язку на точність навігації та стійкість керування безпілотних авіаційних комплексів. Запропоновані моделі, алгоритми та програмні засоби мають практичну спрямованість і можуть бути використані як у наукових дослідженнях, так і в реальних радіотехнічних та авіаційних системах.

Результати роботи пройшли належну апробацію, опубліковані у фахових виданнях та міжнародних наукових джерелах.

Вважаю, що дисертація Бондарева Олександра Сергійовича відповідає встановленим вимогам та освітнім компонентам освітньо-наукової програми «Телекомунікації та радіотехніка».

**В обговоренні** дисертаційного дослідження взяли участь:

**Конахович Г.Ф.**, д.т.н., проф., професор кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ.

Дисертаційна робота Бондарева О.С. присвячена вирішенню актуального науково-технічного завдання підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем. Тематика дослідження є надзвичайно актуальною в сучасних умовах, коли безпілотні авіаційні комплекси набувають дедалі ширшого застосування як у цивільній, так і в спеціальній сферах, а питання забезпечення надійного зв'язку та достовірної навігації є критично важливими для їх ефективного функціонування.

У роботі проведено ґрунтовний аналіз сучасного стану систем супутникового зв'язку та навігації, визначено основні проблеми їх функціонування, а також запропоновано нові науково обґрунтовані підходи до підвищення ефективності використання таких систем. Особливої уваги заслуговують результати, пов'язані з розробленням комплексної моделі оцінки ефективності систем зв'язку та навігації, методів виявлення навігаційних атак та забезпечення безперервності навігації в умовах зовнішніх впливів.

Отримані результати мають як наукову новизну, так і значну практичну цінність. Запропоновані методи та алгоритми можуть бути використані під час створення та модернізації сучасних безпілотних авіаційних комплексів, а також у подальших наукових дослідженнях за напрямом телекомунікаційних та навігаційних систем. Вважаю, що результати дисертаційного дослідження є перспективними для подальшого розвитку та впровадження. Робота відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а

її автор заслуговує на присудження відповідного наукового ступеня. Роботу підтримую.

**Гнатюк В. О.**, к.т.н., доцент, завідувач кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому та методичному рівні. Під час підготовки дослідження здобувач продемонстрував належний рівень володіння сучасними методами наукових досліджень, уміння формулювати та вирішувати складні науково-технічні завдання, а також здатність комплексно аналізувати проблеми функціонування систем супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем.

Важливо відзначити, що робота не обмежується лише теоретичними дослідженнями, а містить практично орієнтовані результати у вигляді моделей, алгоритмів та програмних засобів, які можуть бути використані для підвищення ефективності та надійності функціонування безпілотних авіаційних комплексів. Отримані результати є логічно обґрунтованими, підтвердженими моделюванням та апробацією, а також знайшли відображення у наукових публікаціях здобувача.

Слід відзначити належний рівень апробації результатів дослідження на міжнародних наукових конференціях та їх публікацію у фахових виданнях і виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах даних. Це свідчить про наукову цінність та актуальність отриманих результатів.

Попри окремі зауваження щодо оформлення дисертаційної роботи, які мають редакційний характер і не впливають на її науковий зміст, вважаю, що дисертація повністю відповідає встановленим вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії. Роботу підтримую та бажаю здобувачу подальших успіхів у науковій діяльності.

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Бондарева Олександра Сергійовича на тему «Методи підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**1. Обґрунтування вибору теми дослідження.** Вибір теми дисертаційного дослідження зумовлений стрімким розвитком безпілотних авіаційних комплексів та суттєвим розширенням сфер їх застосування у сучасних умовах. Безпілотні авіаційні системи активно використовуються для моніторингу, розвідки, логістики, картографування, охорони критичної інфраструктури, пошуково-рятувальних операцій, а також виконання спеціальних і оборонних завдань. Це обумовлює підвищення вимог до надійності, точності та стійкості систем супутникового зв'язку й навігації, від яких безпосередньо залежить ефективність функціонування БпАК.

Особливістю сучасних безпілотних систем є їх критична залежність від супутникової навігації, інерціальних систем навігації та каналів супутникового зв'язку. Порушення роботи каналів зв'язку, збільшення затримок, джитера, втрат

пакетів або деградація супутникових сигналів можуть призвести до зростання похибки позиціонування, втрати стійкості керування, порушення виконання польотного завдання або повної втрати безпілотного літального апарата. У більшості існуючих підходів системи зв'язку, навігації та керування аналізуються окремо, хоча на практиці вони є тісно взаємопов'язаними та взаємозалежними.

Додатковим чинником вибору теми є зростання загроз навігаційній безпеці безпілотних авіаційних систем. Сучасні БпАК залишаються вразливими до GNSS spoofing та jamming атак, які можуть викликати приховане спотворення координат, нав'язування хибного навігаційного стану та відхилення БпАК від заданого маршруту. Особливо небезпечним є spoofing, оскільки система продовжує отримувати формально достовірний сигнал, але з викривленими навігаційними параметрами. Це створює потребу у розробленні методів оперативного виявлення навігаційних атак, аналізу аномалій та автоматичного переходу до резервних режимів навігації.

Таким чином, вибір теми дослідження пов'язаний із необхідністю розроблення комплексних моделей, методів та алгоритмів підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем. Запропоновані підходи дозволяють забезпечити багатокритеріальне оцінювання ефективності системи, підвищити точність позиціонування, стійкість керування та надійність функціонування БпАК в умовах навмисних інформаційних впливів, деградації супутникових сигналів і складної завадової обстановки, що має важливе теоретичне та практичне значення для розвитку сучасних телекомунікаційних і навігаційних систем.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до наукового напрямку кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ та пов'язана з науковими дослідженнями кафедри у галузі телекомунікаційних та радіотехнічних систем, електронних комунікацій, мобільних мереж нового покоління та методів підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних систем, зокрема «Методи підвищення експлуатаційної ефективності телекомунікаційних та радіоелектронних систем об'єктів критично важливої інфраструктури України», №425-ДБ22 у період 2022-2023 р.р., номер державної реєстрації № 0122U001804 та «Методи побудови захищених багатошарових стільникових мереж 5G/6G на основі використання алгоритмів штучного інтелекту для моніторингу об'єктів критичної інфраструктури держави», №483-ДБ24 у період 2024-2025 рр., номер державної реєстрації № 0124U000197, де автор дослідив захищеність каналів передачі інформації на можливість підміни корисних сигналів та розробив відповідні методи виявлення структурних змін у сигналах, що передаються.

Тема дисертації відповідає профілю підготовки здобувачів за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» та спрямована на вирішення актуального науково-прикладного завдання у сфері оцінювання та підвищення ефективності каналів передачі навігаційної інформації.

Тема дисертації відповідає освітньо-науковій програмі «Телекомунікації та радіотехніка» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» галузі знань «Електроніка та телекомунікації» в КАІ (зокрема, ОК 1.3.1, ОК 1.3.2, ОК 1.3.3 та ОК 1.3.5).

**3. Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем.

**4. Об'єктом дослідження** є процес функціонування каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем.

**5. Предметом дослідження** є методи, моделі, що забезпечують підвищення ефективності каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем.

**6. Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, зокрема: методи системного аналізу – для дослідження процесів функціонування каналів супутникового зв'язку та навігації безпілотних авіаційних систем, аналізу взаємозв'язків між підсистемами зв'язку, навігації та керування, а також визначення факторів, що впливають на ефективність функціонування БпАК в умовах зовнішніх впливів і навігаційних атак; методи математичного моделювання – для побудови комплексної моделі оцінки ефективності системи зв'язку та навігації, формалізації процесів передачі навігаційної інформації, оцінювання впливу параметрів каналу зв'язку на точність позиціонування та стійкість керування, а також моделювання процесів деградації навігаційних даних; методи теорії ймовірностей та математичної статистики – для оцінювання ймовірнісних характеристик каналів зв'язку, аналізу втрат пакетів, затримок, джитера, похибок позиціонування та ризиків втрати керованості безпілотних авіаційних систем; методи оптимізації – для вибору оптимальної інерціальної навігаційної системи за критеріями точності, автономності, обчислювальної складності, енергоспоживання та ресурсних обмежень; методи імітаційного моделювання – для дослідження ефективності запропонованих методів у різних сценаріях функціонування каналів супутникового зв'язку та навігації, аналізу поведінки системи в умовах GNSS spoofing та jamming атак, а також перевірки ефективності механізмів переходу на INS-навігацію; методи порівняльного аналізу – для зіставлення існуючих підходів забезпечення стійкості навігації та зв'язку із запропонованими моделями й методами; методи алгоритмізації та програмної реалізації – для створення веб-застосунку, алгоритмів виявлення GNSS spoofing, реалізації механізмів інтегральної оцінки ефективності та програмного забезпечення підтримки прийняття рішень у безпілотних авіаційних системах.

**7. Наукова новизна дослідження:** у роботі отримано наступні наукові результати.

*уперше:*

- розроблено комплексну модель оцінки ефективності системи зв'язку та навігації безпілотних авіаційних комплексів, яка на відміну від існуючих, враховує множину параметрів якості зв'язку (затримку, джитер, втрати пакетів, доступність каналу, повторні передачі) та їх вплив на забезпечення динамічної точності навігації в умовах ризику втрати навігації, внаслідок зовнішніх впливів, що дозволяє здійснити багатокритеріальну оцінку ефективності системи навігації та відповідно провести її оптимізацію;

- розроблено метод виявлення та нівелювання впливу підміни координат на якість визначення місцезнаходження в умовах зовнішнього впливу завад, що на відміну від існуючих, здійснює покрокове приймання та обчислення

координат, збір допоміжної інформації, виявлення аномалій та активну перевірку, що надає змогу більш оперативно виявляти підміну координат і відповідно забезпечити менше відхилення від цільового маршруту;

*удосконалено:*

- метод перемикання на інерціальну систему навігації за рахунок оперативного виявлення підміни координат, вибору оптимальної системи інерціальної навігації за умов наявності обмежень по цільовій ефективності, обчислювальній складності реалізації та наявного бюджету, що дозволяє здійснювати оперативне реагування на наявність джерела нелегітимних координат та відповідно здійснювати коригування маршруту;

**8. Теоретичне значення** одержаних результатів полягає у розвитку науково-методичних засад оцінювання та підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем. У дисертаційній роботі поглиблено теоретичні уявлення про закономірності функціонування інтегрованих комунікаційно-навігаційних систем БпАК в умовах зовнішніх завад, деградації каналів зв'язку та навмисних навігаційних впливів, зокрема GNSS spoofing і jamming атак.

Теоретичну цінність мають розроблені комплексна модель оцінки ефективності системи зв'язку та навігації, метод виявлення та нівелювання впливу підміни координат, а також удосконалений метод переходу на інерціальну систему навігації. Запропоновані моделі та методи враховують вплив параметрів якості каналу зв'язку, зокрема затримки, джитера, втрат пакетів, доступності каналу та механізмів повторної передачі, на актуальність навігаційної інформації, динамічну точність позиціонування та стійкість керування безпілотними авіаційними системами.

Отримані результати розширюють існуючі наукові положення щодо інтегрованого аналізу процесів зв'язку, навігації та керування в безпілотних авіаційних комплексах, а також створюють наукове підґрунтя для подальшого розвитку теорії функціонування супутниково-орієнтованих телекомунікаційних систем, методів математичного та імітаційного моделювання навігаційних процесів, засобів оцінювання стійкості навігаційних систем та методів забезпечення навігаційної безпеки БпАК в умовах сучасних інформаційних загроз.

**9. Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження.** Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання розроблених моделей, методів та алгоритмів для підвищення ефективності функціонування систем супутникового зв'язку та навігації безпілотних авіаційних комплексів в умовах зовнішніх завад, деградації сигналів та навмисних інформаційних впливів. Запропоновані рішення дозволяють підвищити точність позиціонування, стійкість керування, забезпечити своєчасне виявлення GNSS spoofing атак та безперервність навігації шляхом автоматичного переходу на резервні інерціальні системи навігації.

Отримані результати можуть бути використані під час проєктування, модернізації та експлуатації безпілотних авіаційних систем, супутниково-навігаційних комплексів, телекомунікаційних систем керування БпЛА, а також у системах спеціального, оборонного, моніторингового та цивільного призначення. Розроблені методи та алгоритми можуть застосовуватися для оцінювання

стійкості комунікаційно-навігаційних систем, підвищення надійності виконання польотних завдань, зниження ризику втрати керованості та мінімізації впливу навігаційних атак.

Практичну цінність мають створені алгоритмічна та програмна реалізації методу виявлення та нівелювання впливу підміни координат, алгоритм вибору оптимальної INS-системи для БПЛА, веб-застосунк для комплексної оцінки ефективності систем зв'язку та навігації, а також імітаційна модель досліджуваних процесів.

Результати дисертаційного дослідження можуть бути використані у науково-дослідних установах, підприємствах авіаційної та телекомунікаційної галузі, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти під час викладання дисциплін, пов'язаних із супутниковими системами зв'язку, навігацією, безпілотними авіаційними системами та інформаційною безпекою.

Результати дослідження інтегровані в діяльність:

- кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ у процесі вдосконалення навчально-методичних матеріалів дисциплін «Основи навігації» та «Системи та комплекси навігації» шляхом використання розроблених методів виявлення та нівелювання впливу GNSS spoofing-атак, а також удосконаленого методу переходу на інерціальну систему навігації з використанням FSM-моделі керування режимами функціонування навігаційної системи (акт про впровадження від 04.05.2026 р.);

- ТОВ «СМАРТ ПАВЕР» під час розроблення та використання програмних засобів аналізу ефективності систем зв'язку та навігації безпілотних авіаційних комплексів, зокрема шляхом впровадження комплексної моделі оцінювання ефективності системи «зв'язок – навігація – керування», математичних моделей оцінювання впливу параметрів каналу зв'язку та вебплатформи для моделювання й оцінювання ефективності телекомунікаційних систем (акт про впровадження від 20.05.2026).

**10. Особистий внесок здобувача** полягає у самостійному виконанні дисертаційного дослідження, постановці та розв'язанні наукового завдання, аналізі літературних джерел, розробленні теоретичних положень, моделей і методів, проведенні розрахунків, моделювання, аналізі результатів та формулюванні висновків. Основні наукові результати, викладені в дисертації та винесені на захист, отримані автором особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать результати, що безпосередньо пов'язані з тематикою дисертаційного дослідження. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувача.

**11. Апробація результатів дослідження.** Основні положення та результати дисертації доповідалися на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях з питань телекомунікацій та інформаційних технологій, а саме: «POLIT. Challenges of Science Today» (Київ, Україна, 2023), «2023 IEEE 7th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)» (Київ, 2023), «International Workshop on Data Analytics (WDA 2025)» (Київ, 2025), «Advances in Civil Aviation Systems Development (ACASD 2025)» (Київ, 2025).

**12. Публікації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено у 7 наукових працях, у тому числі: 4 статтях у наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus, 1 публікації у наукових фахових виданнях України та 2 тезах доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

### **Список опублікованих праць за темою дисертації**

#### ***Статті у наукових фахових виданнях України:***

1. Чумаченко Б., Чумаченко С., Бахтіяров Д., Швець Д., Бондарев О. Моделювання та оцінка стабільності маршрутів у бездротових мобільних мережах. Наукоємні технології. 2026. Т. 69, № 1. С. 118–125. DOI: 10.18372/2310-5461.69.20952.

*Особистий внесок Бондарева О.:* проведено аналіз стабільності маршрутів у мобільних мережах, виконано оцінювання параметрів функціонування бездротових систем зв'язку.

*Особистий внесок Чумаченка Б.:* здійснив постановку задачі дослідження, брав участь у математичному моделюванні та науковому редагуванні роботи.

*Особистий внесок Чумаченка С.:* брав участь у написанні драфту статті.

*Особистий внесок Бахтіярова Д.:* брав участь у науковому консультуванні, аналізі отриманих результатів та редагуванні матеріалів статті.

*Особистий внесок Швеця Д.:* виконував оформлення графічних матеріалів.

2. Tarasiuk S., Konakhovych G., Zaliskyi M., Bondarev O. Assessment of QoS metrics in aviation communication networks. Electronics and Control Systems. 2026. Vol. 88, No. 2. P. 124–130. DOI: 10.18372/1990-5548.88.20976.

*Особистий внесок Бондарева О.:* здійснено аналіз показників якості обслуговування в авіаційних мережах зв'язку та системах супутникової навігації.

*Особистий внесок Тарасюка С.:* виконано формалізацію показників якості обслуговування та підготовлено основні положення методики оцінювання.

*Особистий внесок Конаховича Г.:* брав участь у науковому консультуванні, аналізі отриманих результатів та редагуванні матеріалів статті.

*Особистий внесок Заліського М.:* здійснив постановку задачі дослідження, брав участь у математичному моделюванні та науковому редагуванні роботи.

#### **Статті в іноземних виданнях(статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus)**

3. Konakhovych G., Zaliskyi M., Tarasiuk S., Lelechenko A., Antonov V., Bondarev O. Analysis of the Quality of Service indicators for aviation communication systems. Advances in Civil Aviation Systems Development. ACASD 2025. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham : Springer, 2025. Vol. 1418. P. 262–275. DOI: 10.1007/978-3-031-91992-3\_17, ISSN 2367-3370. (Scopus, Q4)

*Особистий внесок Бондарева О.:* проведено оцінювання показників QoS для авіаційних систем зв'язку та системах супутникової навігації.

*Особистий внесок Конаховича Г.:* сформулював концепцію дослідження та здійснив загальне наукове керівництво.

*Особистий внесок Заліського М.:* брав участь у математичному

моделюванні та інтерпретації результатів.

*Особистий внесок Тарасюка С.:* виконано формалізацію показників якості обслуговування та підготовлено основні положення методики оцінювання.

*Особистий внесок Лелеченко А.:* брала участь в аналізі літературних джерел.

*Особистий внесок Антонова В.:* виконував оформлення графічних матеріалів.

4. Kuzmin V., Zaliskyi M., Okoro O. C., Bondarev O. Data processing for mathematical model building with taking into account heteroscedasticity. CEUR Workshop Proceedings. 2025. Vol. 3912. P. 3–14. DOI: 10.5281/zenodo.20040584. ISSN 1613-0073. (Scopus, Q4)

*Особистий внесок Бондарева О.:* брав участь в аналізі методів обробки даних для математичного моделювання процесів телекомунікація та радіотехніці, а також оцінюванні впливу гетероскедастичності на результати моделювання.

*Особистий внесок Кузьміна В.:* виконав наукове консультування та аналіз результатів дослідження.

*Особистий внесок Заліського М.:* здійснив розроблення методів статистичної обробки даних та формалізацію моделей.

*Особистий внесок Огоро Ч.:* брала участь у аналізі літературних джерел.

5. Chumachenko S., Chumachenko B., Maloied M., Odarchenko R., Zaliskyi M., Bondarev O. Novel Routing Approach in Dense Wireless IoT Network Scenarios. Lecture Notes in Electrical Engineering. 2026. Vol. 1570. P. 122–131. DOI: 10.1007/978-3-032-18415-3\_13. ISSN 1876-1100. (Scopus, Q4)

*Особистий внесок Бондарева О.:* проведено аналіз підходів до маршрутизації в щільних бездротових IoT-мережах та оцінювання ефективності запропонованого підходу.

*Особистий внесок Чумаченка С.:* виконав розроблення алгоритму маршрутизації та моделювання сценаріїв функціонування мережі.

*Особистий внесок Чумаченка Б.:* здійснив постановку задачі дослідження, брав участь у математичному моделюванні та науковому редагуванні роботи.

*Особистий внесок Малоєд М.:* брала участь у аналізі літературних джерел.

*Особистий внесок Одарченка Р.:* брав участь у науковому консультуванні, аналізі отриманих результатів та редагуванні матеріалів статті.

*Особистий внесок Заліського М.:* здійснив наукове редагування та інтерпретацію отриманих результатів.

6. Kuzmin V., Zaliskyi M., Odarchenko M., Bondarev O. New Approaches to Heteroscedasticity Analysis for Linear Regression Model. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer, 2026. Vol. 1919. P. 1–13. DOI: 10.1007/978-3-032-22382-1\_12. ISSN 2367-3370. (Scopus, Q4)

*Особистий внесок Бондарева О.:* брав участь у дослідженні підходів до аналізу гетероскедастичності в лінійних регресійних моделях та їх застосуванні під час оброблення радіотехнічних сигналів.

*Особистий внесок Кузьміна В.:* виконав наукове консультування, аналіз результатів та редагування матеріалів публікації.

*Особистий внесок Заліського М.:* здійснив розроблення математичного апарату дослідження та статистичних методів аналізу.

*Особистий внесок Одарченко М.: брав участь у синтезі та аналізі алгоритму оброблення даних, а також його статистичному моделюванні.*

**Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

7. Migel S., Zaliskyi M., Maloied M., Osipchuk A., Odarchenko R., Bondarev O. Machine learning method for optimal route calculation. *7th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, Kyiv, Ukraine, 2023. P. 168–173. DOI: 10.1109/MSNMC61017.2023.10329020. ISBN 979-8-3503-9515-0. (Scopus).

8. Бондарев О., Дика Т., Єгунько В. Аналіз систем зв'язку для безпілотних авіаційних комплексів. *POLIT. Challenges of Science Today* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених, 4–7 квітня 2023 р. Секція «Телекомунікації та захист інформації в авіаційному зв'язку». Київ, 2023. С. 1.

**13. Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотацій, вступу, 4 розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 165 сторінок друкованого тексту із них 136 сторінок основного тексту. Робота містить 24 рисунки, 12 таблиць та 2 додатки. Список використаних джерел містить 65 найменувань.

**14. Характеристика особистості здобувача.** Під час підготовки дисертаційної роботи Бондарев Олександр Сергійович проявив себе як творчий дослідник і науковець, здатний самостійно вирішувати наукові та практичні завдання. Він повною мірою володіє сучасними методами проєктування радіотехнічних систем, має належний рівень теоретичної та практичної підготовки.

**15. Оцінка мови та стилю дисертації.** Текст дисертації викладено грамотною мовою, логічно та послідовно. Матеріали дослідження викладені з дотриманням вимог наукового стилю. Дисертація оформлена згідно з вимогами Міністерства освіти і науки України.

**16. Відповідність принципам академічної доброчесності.** Дисертація не містить необґрунтованих запозичень та плагіату. У роботі дотримано правила посилання на джерела інформації у випадку використання підходів, положень, тверджень, відомостей. Надано достовірну інформацію про результати досліджень, джерела використаної інформації.

**17. Рецензенти рекомендують:** відповідно до пп. 15, 16 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, *пропонується такий склад разової ради:*

**Голова ради:**

**Голубничий Олексій Георгійович**, д.т.н, професор, професор кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ.

**Рецензенти:**

**Петрова Юлія Валеріївна**, к.т.н., доцент, доцент кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ;

**Щербина Ольга Алімівна**, д.т.н., професор, професор кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей КАІ;

**Офіційні опоненти:**

**Бойко Юлій Миколайович**, д.т.н., професор, професор кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницького національного університету;

**Наконечний Володимир Сергійович**, д.т.н., професор, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації, факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Усі члени разової спеціалізованої вченої ради не мають реальний чи потенційний конфлікт інтересів щодо здобувача Бондарева Олександра Сергійовича (зокрема, є його близькою особою) та/або його наукового керівника.

У результаті попередньої експертизи дисертації Бондарева Олександра Сергійовича і повноти публікації основних результатів дослідження

**УХВАЛЕНО:**

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Бондарева Олександра Сергійовича на тему «Методи підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем».

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Бондарева Олександра Сергійовича відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

3. Рекомендувати дисертаційну роботу «Методи підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем», подану Бондаревим Олександром Сергійовичем на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації», за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

4. Рекомендувати Вченій раді затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

**Головою ради:**

**Голубничого Олексія Георгійовича**, д.т.н., професора, професора кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ.

**Рецензентами:**

**Петрову Юлію Валеріївну**, к.т.н., доцента, доцента кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем КАІ;

**Щербину Ольгу Алімівну**, д.т.н., професора, професора кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей КАІ;

**Офіційними опонентами:**

**Бойка Юлія Миколайовича**, д.т.н., професор, професор кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницького національного університету;

**Наконечного Володимира Сергійовича**, д.т.н., професор, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації, факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Бондарева Олександра Сергійовича:

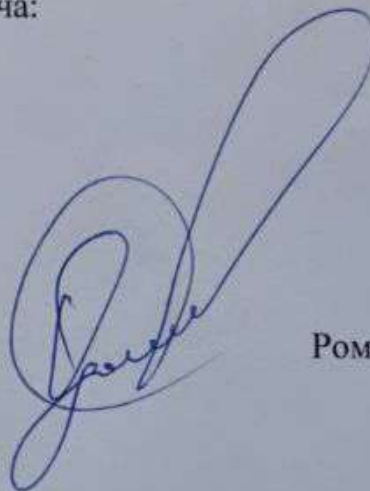
«за» – 18

«проти» – немає

«утримались» – немає.

**Головуючий на засіданні:**

професор кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем ФАЕТ КАІ, д.т.н., професор



Роман ОДАРЧЕНКО

**Секретар засідання:**

доцент кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем ФАЕТ КАІ, к.т.н., доцент



Веніамін АНТОНОВ

**ПОГОДЖЕНО:**

проректор з наукових досліджень та трансферу технологій КАІ, д.т.н., професор



Сергій ГНАТЮК