

ВІДГУК

рецензента

доктора технічних наук, професора, професора кафедри електроніки,
робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей
Національного університету «Київський авіаційний інститут»
Щербини Ольги Алімівни на дисертаційну роботу
Бондарева Олександра Сергійовича
на тему «Методи підвищення ефективності використання каналів
супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

1. Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Бондарева Олександра Сергійовича присвячена розв'язанню актуального науково-прикладного завдання, пов'язаного з підвищенням ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем. Обрана тема має важливе значення для розвитку сучасних телекомунікаційних, радіотехнічних і навігаційних систем, а також для практики побудови стійких комунікаційно-навігаційних комплексів для безпілотних авіаційних комплексів (БпАК).

Актуальність дослідження зумовлена тим, що безпілотні авіаційні комплекси дедалі ширше застосовуються для виконання завдань моніторингу, розвідки, спостереження, логістики, контролю об'єктів критичної інфраструктури та роботи за межами прямої видимості. У таких умовах результативність виконання місії безпосередньо залежить від якості каналів зв'язку, стабільності супутникової навігації, своєчасності оновлення

навігаційних даних і здатності системи керування зберігати стійкість за наявності зовнішніх впливів.

У більшості відомих підходів супутниковий зв'язок, GNSS-навігація, інерціальна навігація, навігаційна фільтрація та керування розглядаються як відносно самостійні підсистеми. Такий підхід ускладнює оцінювання наскрізного впливу параметрів зв'язку на актуальність навігаційної інформації, роботу фільтра, похибку позиціонування та якість керування. Саме тому розроблення комплексних моделей і методів, які дозволяють оцінювати систему «зв'язок – навігація – керування» як єдину функціональну систему, є своєчасним і науково обґрунтованим напрямом дослідження.

Отже, тема дисертації є актуальною, відповідає сучасним потребам розвитку телекомунікаційних і навігаційних технологій, а також має виражене практичне значення для підвищення надійності, живучості та безпеки застосування безпілотних авіаційних систем.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукові положення, висновки й рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, загалом є обґрунтованими та відповідають меті й завданням дослідження. Автором послідовно проаналізовано сучасний стан проблеми використання каналів супутникового зв'язку та навігації для БпАК, визначено ключові чинники, що впливають на ефективність функціонування комунікаційно-навігаційної системи, та запропоновано підходи до їх формалізованого врахування.

Позитивною рисою дисертації є орієнтація не лише на опис окремих технічних характеристик каналів зв'язку або навігаційних систем, а на встановлення взаємозв'язку між ними. У роботі показано, що затримка, джитер, втрати пакетів, доступність каналу та повторні передачі впливають не

ізолювано, а через актуальність навігаційної інформації, частоту коректних оновлень навігаційного фільтра, середньоквадратичну похибку позиціювання і стійкість керування.

Достовірність одержаних результатів забезпечується використанням сучасного математичного апарату, методів моделювання та аналізу, адекватних поставленим завданням дослідження. Обраний методичний апарат відповідає характеру поставлених завдань і дозволяє дослідити вплив параметрів зв'язку та навігації на інтегральну ефективність функціонування БпАК.

У роботі простежується логічна послідовність: від аналізу вимог до каналів супутникового зв'язку та навігації – до побудови інтегральної моделі, розроблення методу виявлення підміни координат, удосконалення переходу на інерціальну навігацію та програмної реалізації запропонованих підходів. Така логіка свідчить про належну цілісність дослідження та достатній рівень обґрунтованості основних результатів.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні комплексного підходу до оцінювання та підвищення ефективності каналів супутникового зв'язку і навігації для безпілотних авіаційних систем з урахуванням зовнішніх завад, підміни координат і необхідності підтримання стійкого керування.

3. Наукова новизна одержаних результатів

У дисертаційній роботі отримано наукові результати, які мають ознаки новизни та спрямовані на розвиток методів оцінювання й підвищення ефективності функціонування комунікаційно-навігаційних систем БпАК, а саме:

1. Уперше розроблено комплексну модель оцінки ефективності системи зв'язку та навігації безпілотних авіаційних комплексів, яка враховує параметри якості зв'язку, зокрема затримку, джитер, втрати пакетів, доступність каналу та повторні передачі, а також їхній вплив на динамічну точність навігації, актуальність навігаційних даних, похибку позиціювання та стійкість керування.

2. Уперше розроблено метод виявлення та нівелювання впливу підміни координат на якість визначення місцезнаходження в умовах зовнішнього впливу завад. Запропонований підхід передбачає використання діагностичних ознак, пов'язаних із розбіжністю між GNSS та INS, аналізом аномалій, допоміжною перевіркою та формуванням підстав для оперативного реагування на нелегітимні координати.

3. Удосконалено метод перемикання на інерціальну систему навігації шляхом врахування факту оперативного виявлення підміни координат та вибору оптимальної INS-системи за умов наявності обмежень щодо цільової ефективності, обчислювальної складності реалізації та доступних ресурсів.

4. Подальшого розвитку набули підходи до алгоритмічної та програмної реалізації моделей оцінювання ефективності системи зв'язку та навігації, зокрема через створення вебзастосунку, призначеного для введення параметрів, сценарного моделювання, розрахунку інтегральної оцінки ефективності та формування рекомендацій щодо покращення параметрів системи.

Зазначені результати свідчать про самостійний внесок здобувача у вирішення поставленого науково-прикладного завдання та підтверджують наявність у роботі належного рівня наукової новизни.

4. Загальна структура та зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Бондарева О.С. побудована логічно та послідовно. Її структура відповідає меті дослідження і забезпечує поступове розкриття теми від аналізу предметної області до розроблення моделей, методів і програмних засобів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет, наведено методи дослідження, подано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, відомості про апробацію та структуру дисертації. Вступ містить

необхідні елементи для розуміння загальної логіки роботи та її науково-прикладної спрямованості.

У першому розділі проведено дослідження ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем. Розглянуто технології супутникового зв'язку, особливості їх застосування для БпАК, вимоги до каналів зв'язку та навігаційних систем, вплив радіоелектронних перешкод, а також приклади реалізації відповідних технологій у сучасних безпілотних комплексах. Розділ формує теоретичне та аналітичне підґрунтя подальших розробок.

У другому розділі здійснено формалізацію архітектури супутникової комунікаційно-навігаційної системи. Автором розглянуто модель супутникових каналів зв'язку та навігації, імовірнісну модель надійності супутникового каналу, оцінювання втрат пакетів і завад, впливу глушіння та підміни координат.

У третьому розділі розглянуто методи підвищення ефективності функціонування системи супутникової навігації для БпАК. Основну увагу приділено виявленню та протидії спуфінгу, автоматичному переходу на інерціальну навігацію, вибору оптимальної INS-системи та оцінюванню обчислювальної складності запропонованого методу. Розділ має важливу прикладну спрямованість, оскільки стосується безпосереднього підвищення стійкості навігаційного забезпечення.

У четвертому розділі наведено реалізацію та оцінку ефективності розроблених методів і моделей. Описано вебзастосунок для оцінки ефективності функціонування системи зв'язку та навігації для БпАК, наведено аналіз розроблених методів, а також продемонстровано можливість використання запропонованого інструментарію для сценарної оцінки параметрів системи.

У висновках узагальнено основні результати дисертаційної роботи. Вони відповідають поставленій меті, сформульованим завданням і змісту розділів.

Загалом структура роботи є цілісною, а виклад матеріалу свідчить про завершеність проведеного дослідження.

5. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час розроблення, модернізації, моделювання та оцінювання комунікаційно-навігаційних систем безпілотних авіаційних комплексів.

Розроблена комплексна модель оцінки ефективності системи зв'язку та навігації може бути використана для аналізу впливу параметрів каналу зв'язку на якість навігаційного забезпечення, точність позиціювання та стійкість керування. Це створює передумови для більш обґрунтованого вибору параметрів супутникового зв'язку та навігації в різних сценаріях функціонування БпАК.

Запропонований метод виявлення та нівелювання впливу підміни координат має практичну цінність для підвищення захищеності навігаційних систем від спуфінгу. Його застосування може сприяти своєчасному виявленню нелегітимних координат, зменшенню відхилення від маршруту та зниженню ризику втрати керованості.

Удосконалений метод перемикання на інерціальну систему навігації може бути використаний у системах, де необхідно забезпечити безперервність навігації за умов деградації або недостовірності GNSS-даних. Важливою є також можливість вибору INS-системи з урахуванням цільової ефективності, обчислювальних обмежень і ресурсних параметрів.

Практичну спрямованість роботи підсилює розроблення вебзастосунку для комплексної оцінки ефективності системи зв'язку та навігації БпАК. Такий інструмент може бути корисним для попереднього моделювання сценаріїв,

оцінювання впливу окремих параметрів, підтримки прийняття рішень і формування рекомендацій щодо підвищення ефективності системи.

Отже, результати дисертації можуть бути використані як у практичній діяльності розробників БпАК і навігаційних систем, так і в подальших наукових дослідженнях у сфері телекомунікацій, супутникової навігації, радіотехнічних систем і безпілотних технологій.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота справляє враження завершеного самостійного дослідження, у якому автор послідовно реалізував поставлену мету та розв'язав визначені завдання. Зміст роботи відповідає заявленій темі та спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Розділи дисертації є взаємопов'язаними, а отримані в них результати логічно доповнюють один одного. Від аналізу існуючих технологій супутникового зв'язку та навігації автор переходить до формалізації моделей, розроблення методів протидії підміні координат, оцінювання обчислювальної складності та практичної реалізації запропонованих рішень.

Висновки за розділами та загальні висновки узгоджуються з викладеним матеріалом. Вони відображають основні результати дослідження і підтверджують, що поставлені завдання виконано в межах обраної методології.

Ознайомлення зі змістом дисертації дає підстави вважати, що робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Використані джерела наведені у списку літератури, у тексті подано посилання на джерела, а основні положення і результати мають ознаки самостійного наукового опрацювання.

Загалом зміст дисертаційної роботи є достатнім для оцінювання заявлених наукових результатів, а робота має завершений характер.

7. Мова та стиль викладення

Дисертаційна робота написана українською мовою з дотриманням основних вимог наукового стилю. Матеріал викладено здебільшого послідовно, логічно та зрозуміло.

Автор використовує фахову термінологію у сфері телекомунікаційних систем, супутникового зв'язку, GNSS-навігації, інерціальних навігаційних систем, радіоелектронної боротьби, безпілотних авіаційних комплексів, математичного та імітаційного моделювання.

Наведені рисунки, таблиці, формули, алгоритмічні описи та структурні схеми сприяють кращому розумінню матеріалу і дають змогу простежити логіку побудови запропонованих моделей та методів.

Разом із тим окремі фрагменти тексту могли б бути додатково відредаговані для уніфікації термінології та усунення технічних неточностей. Зазначене не впливає на зміст і наукову цінність отриманих результатів.

8. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні результати дисертаційної роботи представлено у наукових публікаціях та матеріалах науково-технічних конференцій, наведених у дисертації. Тематика оприлюднених праць узгоджується зі змістом дослідження і стосується питань телекомунікаційних систем, якості обслуговування, маршрутизації, математичного моделювання, оброблення даних, супутникового зв'язку та навігаційного забезпечення.

Наявність публікацій і конференційних матеріалів свідчить про апробацію основних положень дисертаційної роботи у фаховому середовищі. Результати дослідження були представлені в контексті сучасних наукових проблем електроніки, телекомунікацій, радіотехніки та безпілотних авіаційних систем.

З огляду на це можна вважати, що основні положення дисертації пройшли належне оприлюднення та мають достатній рівень апробації.

9. Зауваження до дисертаційної роботи

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Бондарева О.С., доцільно висловити окремі зауваження та побажання:

1. У роботі варто було б ширше представити валідацію запропонованої комплексної моделі на основі реальних або наближених до реальних польотних даних БпАК, що дало б змогу додатково підтвердити її прикладну придатність у різних умовах експлуатації.

2. Метод виявлення підміни координат доцільно було б доповнити більш розгорнутим аналізом вибору порогових значень інтегрального індикатора підозри на спуфінг та їх впливу на ймовірність хибної тривоги і пропуску атаки.

3. Бажано було б детальніше показати практичні приклади застосування запропонованого підходу для БпАК різних класів, масогабаритних характеристик і типів місій.

4. Вебзастосунок для оцінки ефективності системи зв'язку та навігації має очевидну прикладну цінність, однак роботу можна було б посилити описом вимог до його впровадження, тестування, масштабування та інтеграції з іншими інженерними інструментами.

5. Під час оцінювання ефективності запропонованих методів основна увага приділяється технічним показникам функціонування системи. Разом із тим доцільним було б доповнити дослідження аналізом обчислювальних витрат окремих алгоритмів у режимі реального часу для різних типів бортових обчислювальних платформ.

6. Окремі місця дисертаційного тексту потребують додаткового мовностилістичного редагування, зокрема щодо уніфікації написання термінів, скорочень і назв окремих методів.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер, не є принциповими та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

10. Загальний висновок

Дисертаційна робота Бондарева Олександра Сергійовича на тему «Методи підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для безпілотних авіаційних систем» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності використання каналів супутникового зв'язку та навігації для БпАК.

Робота характеризується належним науковим рівнем, логічною структурою, достатньою обґрунтованістю отриманих результатів, наявністю наукової новизни та практичним значенням. Запропоновані в дисертації моделі, методи та програмні засоби можуть бути використані для аналізу, моделювання і підвищення стійкості комунікаційно-навігаційних систем безпілотних авіаційних комплексів в умовах деградації супутникового зв'язку, навігаційних завад та спуфінгу.

За актуальністю, змістом, рівнем виконання, науковою новизною та практичним значенням дисертаційна робота відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор, Бондарев Олександр Сергійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Д.т.н., професор, професор кафедри електроніки,
робототехніки і технологій моніторингу
та інтернету речей факультету аеронавігації,
електроніки та телекомунікацій
Національного університету
«Київський авіаційний інститут»



Ольга ЩЕРБИНА
Щербина О. завідує
секретар КДІ
Ліма Надок