

Голові спеціалізованої
вченої ради Д 26.062.07
Національного авіаційного університету
03058, м. Київ, пр. Гузара Любомира 1

В І Д Г У К

Офіційного опонента на дисертаційну роботу Долінце Богдана Ігоровича «Методи та засоби підвищення точності обробки інформації в бортових підсистемах БпЛА», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – «Комп'ютерні системи та компоненти»

Актуальність теми

Сучасний розвиток безпілотних літальних апаратів (БпЛА) характеризується стрімким зростанням їх кількості та розширенням сфер застосування – від комерційних та рекреаційних до критично важливих безпекових цілей. Це значно підвищує вимоги до точності позиціонування БпЛА та ефективності обробки інформації їх бортовими системами, особливо в складних умовах міської забудови та повітряного простору.

Незважаючи на прогрес і численні роботи присвячені методам та засобам для позиціонування БпЛА та підвищення його точності подальше вирішення цих завдань потребує пошуку альтернативних технічних рішень, розробки нових методів та засобів підвищення точності обробки інформації про позиціонування в бортових підсистемах БпЛА.

Актуальність теми дослідження Долінце Б.І. обумовлена необхідністю забезпечення швидкості, надійності та ефективності обробки інформації про позиціонування БпЛА в просторі в умовах зростання обсягів даних з різних джерел та вимог до їх обробки в реальному часі.

Проблема підвищення точності позиціонування БпЛА через інтеграцію різних систем, таких як інерціально-супутникові методи, вимагає глибокого розуміння їх взаємодії та оптимізації обробки інформації. Важливим завданням стає розробка комплексних підсистем позиціонування з використанням методів компенсації похибок вимірювань, оптимальної фільтрації та злиття даних з різних джерел, включаючи супутники низької земної орбіти (LEO), системи глобального позиціонування (GNSS) та бортові інерціальні датчики (INS).

Запропонований в роботі підхід "багатошарової системи систем" для побудови робастної інерціальної багатосупутникової підсистеми позиціонування (LeGNSS) для БпЛА є перспективним рішенням для забезпечення надійної обробки інформації в умовах невизначеності та впливу зовнішніх перешкод.

Таким чином, тема дослідження Долінце Б.І., спрямована на розробку нових підходів підвищення ефективності систем позиціонування БпЛА з використанням інноваційних технологій та компонентів, є безсумнівно актуальною і має важливе наукове і практичне значення для розвитку безпілотних систем.

Новизну запропонованих рішень захищено Свідоцтвом про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму «Система адаптивної обробки інформації в багато-супутниковій системі позиціонування LeGNSS» (шифр «LeGNSS», державний реєстраційний номер №122052, від 18.12.2023) та подано документи на видачу патенту на корисну модель України (заявка №u202305401 від 13.11.2023).

Вважаю, що тема дисертаційної роботи Долінце Б.І. є актуальною.

Наукова новизна одержаних здобувачем результатів

До найбільш важливих наукових результатів, викладених у дисертації, відношу наступні:

- вперше розроблено метод злиття інформації для багатосупутникової обробки інформації про позиціонування на базі методів оптимальної обробки та прямої корекції помилок з використанням інформації від LEO-супутників. Це

дозволяє підвищити стійкість процесу обробки інформації та точність визначення позиціонування;

- удосконалено методику оцінювання інформації за одним вимірювальним каналом про позиціонування, яка відрізняється від відомих підходів врахуванням оцінки параметрів шляхом злиття інформації від LEO-спутників та відомих бортових підсистем GNSS та INS. Це дозволяє в реальному часі обробляти надлишкову інформацію та отримувати більш точні дані про позиціонування (похибка позиціонування $\sim 3,12$ м, похибка швидкості $\sim 0,2$ м/с);

- набув подальшого розвитку метод комплексної обробки інформації з оптимальною та адаптивною фільтрацією похибок позиціонування з використанням програмних алгоритмів відфільтрування високочастотних похибок та адаптації до постійних похибок. На відміну від існуючих, новий метод враховує пікові відхилення похибок та підвищує точність позиціонування на 9%;

- набув подальшого розвитку метод комплексного оброблення інформації в підсистемах позиціонування БпЛА. Він відрізняється врахуванням оцінки цілісності даних в багатосупутниковій підсистемі LeGNSS за допомогою розробленого алгоритму оцінки цілісності отримуваної інформації. Це дає можливість постійного контролю даних в підсистемі позиціонування та виходу в робочий режим за 2-5с після ініціалізації.

Отримані в дисертації нові наукові результати в сукупності вирішують важливе завдання підвищення точності обробки інформації про позиціонування в бортових підсистемах БпЛА і свідчать про розвиток наукових основ побудови високоефективних систем позиціонування безпілотних літальних апаратів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність

Аналіз змісту дисертації та автореферату показує, що основні наукові положення та висновки, зроблені в роботі, є обґрунтованими і логічно

впливають з отриманих автором наукових результатів. Вони базуються на достатній кількості експериментальних даних та відомих наукових фактах.

При цьому використано сучасні методи дослідження - спостереження та порівняння при аналізі моделей підсистем позиціонування; методи порівняння, теорії ефективного інструментального забезпечення, математичного моделювання та системних перетворень при постановці наукового завдання та виборі методів його вирішення; аналізу і синтезу, теорії організації та вдосконалення систем обробки інформації, математичного моделювання, дискретної оптимізації, теорії статистичних оцінок та статистичного моделювання при розробці нових методів підвищення ефективності підсистем позиціонування.

Достовірність отриманих результатів і висновків підтверджується коректним застосуванням фундаментальних наукових положень, ретельністю математичних викладок, узгодженістю теоретичних висновків з експериментальними даними та результатами моделювання роботи запропонованих систем.

Важливо відзначити, що основні наукові результати дисертації апробовані на міжнародних та всеукраїнських конференціях і достатньо повно представлені в наукових публікаціях у фахових виданнях. Автореферат адекватно відображає зміст дисертації.

Таким чином, можна стверджувати, що ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, та їх достовірність не викликають сумнівів.

Отримані наукові положення апробовані автором на 9 наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних та всеукраїнських.

Оцінка змісту, стиль викладу, публікації та апробації

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 210 найменувань та 5 додатків. Повний обсяг

дисертації 215 сторінок, із них 135 сторінок основного тексту. Робота включає 3 таблиці, 40 рисунків.

Оформлення дисертації відповідає вимогам ДАК України.

Дисертація має логічну структуру і послідовно розкриває тему дослідження. Матеріал викладено чітко, грамотно і аргументовано. Математичний апарат використано коректно, стиль подачі забезпечує доступність сприйняття складного наукового матеріалу. Ілюстрації та таблиці доповнюють і пояснюють текстову частину.

Ознайомлення з дисертацією, авторефератом та низкою статей дозволяє зробити висновок щодо наявності необхідної повноти публікацій наукових результатів у виданнях, що регламентовані МОН України. Особистий внесок здобувача підтверджується адекватністю основних розділів дисертації в статтях і виступах з доповідями.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи, а наведені в авторефераті наукові положення, висновки і рекомендації достатньо розкриті й обґрунтовані в тексті дисертації.

Список праць складає 20 найменувань (10 праць, які відображають основні наукові результати дисертації та 10 праць, які додатково відображають наукові результати дисертації), з них: 7 статей у наукових фахових виданнях України, 3 статті в зарубіжних наукових виданнях, що індексуються Scopus; 1 стаття в науковому журналі, 8 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій та 1 авторське свідоцтво.

Практичне значення

Розроблені в дисертаційній роботі методи і моделі можуть бути використані для підвищення точності обробки інформації про позиціонування в бортових підсистемах БпЛА. Проведені експериментальні дослідження надають підтвердження основних положень, що виносяться на захист дисертаційної роботи. Розроблені методи підвищення точності обробки інформації про позиціонування можуть бути застосовані для забезпечення надійної та

безперебійної роботи засобів позиціонування БпЛА, а також відповідних систем автоматичного керування в складних умовах виконання автономних місій БпЛА. Новизну запропонованих рішень захищено авторським свідоцтвом та подано документи для отримання патенту на корисну модель України.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено: у діяльності ГС «Бізнес інкубатор груп. Україна», ГС «Українська авіатранспортна асоціація», Всеукраїнському центрі реформ транспортної інфраструктури, Асоціації «КОСМОС».

Результати дисертаційної роботи мають широку перспективу для використання під час вирішення завдань підвищенні точності роботи систем позиціонування в БпЛА.

Поряд з позитивними сторонами дисертаційного дослідження варто зробити наступні **зауваження**:

1. На жаль в роботі не наведені оцінки технічної ефективності запропонованих методів в умовах впровадження у виробництво, що дало б краще уявлення про практичне застосування запропонованих рішень.
2. Другий розділ можна скоротити в 1.5 рази, так як приведена там інформація вже достатньо широко відображена в багатьох джерелах наукової літератури.
3. Бажано було б проаналізувати можливості інтеграції розроблених методів і засобів з існуючими системами управління та обміну даними БпЛА для оцінки їх сумісності та масштабованості.
4. Нажаль в роботі не наведено аналіз впливу кількості та геометрії розташування LEO супутників на точність позиціонування БпЛА, що є важливим фактором ефективності роботи запропонованої системи LeGNSS в різних географічних регіонах.

5. Бажано було б приділити більше уваги аналізу стійкості та надійності роботи системи LeGNSS в умовах можливих збоїв або відмов окремих компонентів, що важливо для забезпечення безпеки польотів БПЛА.
6. В роботі не наведено техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження розроблених методів і засобів в існуючі або перспективні системи БПЛА з точки зору співвідношення витрат та отриманого ефекту.
7. Доцільно розширити експериментальні дослідження запропонованих рішень шляхом моделювання роботи системи позиціонування більш широким набором різних сценаріїв польоту та доповнити їх різними типами БПЛА (квадрокоптери, октокоптери, літальні апарати літакового типу, тощо).
8. В тексті дисертації та автореферату зустрічаються окремі друкарські помилки та неточності при викладенні матеріалу.

Вказані недоліки безумовно не знижують науковий рівень дисертації і не впливають на загальну оцінку роботи та зроблених висновків в цілому.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Долінце Богдана Ігоровича за змістом є завершеною науково-дослідною роботою, яка виконана на актуальну тему і містить нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують важливе завдання - розробку методів і засобів підвищення точності обробки інформації в бортових підсистемах БПЛА, що в повній мірі відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – «Комп'ютерні системи та компоненти».

Вважаю, що дисертаційна робота Долінце Б.І. «Методи та засоби підвищення точності обробки інформації в бортових підсистемах БПЛА» за науковим рівнем, практичною цінністю, публікаціями та апробаціями відповідає вимогам МОН України щодо дисертаційних робіт, поданих на здобуття

наукового ступеня кандидата технічних наук, а здобувач **Долінце Богдан Ігорович** заслуговує на присудження наукового ступеня **кандидата технічних наук** за спеціальністю 05.13.05 – «Комп’ютерні системи та компоненти».

Офіційний опонент:

заступник директора з наукової роботи
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України
Доктор технічних наук,
професор



О.А. Чемерис