

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

### **ВІДГУК**

офіційного опонента Опанасенка Володимира Миколайовича на дисертаційну роботу Долінце Богдана Ігоровича на тему «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 дисертації.** До складу сучасних безпілотних авіаційних літальних апаратів комплексів входять різноманітні системи позиціонування, які безпосередньо впливають на безпеку та надійність їх експлуатації. Розвиток ринку безпілотних літальних апаратів (БпЛА) характеризується стрімким зростанням їх кількості та розширенням сфер застосування – від комерційних та рекреаційних до критично важливих безпекових та оборонних цілей. Таке інтенсивне зростання кількості БпЛА та розширення спектру їх застосування висуває нові вимоги до точності позиціонування та ефективності обробки інформації бортовими системами, особливо в умовах складної міської забудови та насиченого повітряного простору.

Актуальність теми дисертаційного дослідження Долінце Б.І. обумовлена необхідністю забезпечення високої 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.

Незважаючи на значний прогрес у розробці методів та засобів для покращення точності позиціонування БпЛА, подальший розвиток цього напрямку потребує пошуку альтернативних технічних рішень, створення нових підходів для підвищення точності обробки даних про позиціонування в бортових підсистемах БпЛА. Проблема підвищення точності позиціонування БпЛА шляхом інтеграції різнорідних систем, таких як інерційно-супутникові методи, вимагає глибокого розуміння їх взаємодії та оптимізації процесів

обробки даних. Важливим завданням є розробка комплексних підсистем позиціонування з використанням методів компенсації похибок вимірювань, оптимальної фільтрації та злиття даних з різномірних джерел, включаючи супутники низьких орбіт (LEO), системи глобального позиціонування (GPS) та бортові інерційні датчики (INS).

Запропонований в роботі підхід "багатосарової системи" для побудови робастної інерціальної багатосупутникової підсистеми позиціонування для БпЛА є перспективним рішенням для забезпечення надійної обробки інформації в умовах невизначеності та впливу зовнішніх перешкод. Таким чином, тема дисертаційного 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.

Також про актуальність обраної теми можна судити з огляду на участь здобувача у науково-дослідних роботах кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного авіаційного університету: НДР №54-2022/09.01.04 (протокол Кафедри КСМ НАУ №13 від 07.09.2023 р.) «Технології створення високопродуктивних захищених комп'ютерних систем» (2023 р.). Слід також зазначити, що вибраний напрямок досліджень має тісний зв'язок із науковим напрямом 1.2.11.2. «Методи обробки супутникових даних» затвердженим в Постанові Президії НАН України від 10.01.2024 р. № 8 «Про Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2024-2028 роки».

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

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.

**У першому розділі** виконано аналіз методів і засобів обробки інформації про позиціонування БпЛА, огляду літературних джерел, опису призначення та будови сучасних систем позиціонування, аналізу існуючих інструментальних засобів позиціонування, методів підвищення точності обробки інформації та перспективам розвитку систем позиціонування БпЛА. Проведено аналіз математичного апарату та обмежень використання існуючих математичних методів оцінювання і забезпечення надійності і функційної безпечності систем досліджуваного класу. Визначено протиріччя та сформульовано науково-прикладну проблему.

**У другому розділі** розглянуто методи підвищення точності та ефективності функціонування систем позиціонування, включаючи методи компенсації, оптимальної фільтрації, комплексування та корекції в INS/GNSS, особливості обробки інформації в багатосупутникових системах та розробку методів адаптивного позиціонування для різних умов експлуатації. Важливо, що базові ідеї досліджень ґрунтуються сучасних рішеннях створення високоефективних та надійних системи позиціонування із використанням Калманівського фільтру, інструментальних та програмних методів фільтрації, тощо. Дані підходи дозволяють застосування переваг сучасних телекомунікаційних LEO-супутників передачі даних для вирішення завдань позиціонування і забезпечення надійності та безпечності таких засобів.

**Третій розділ** присвячено розробленню моделі робастної інерціальної багатосупутникової підсистеми позиціонування LeGNSS, вимог до її режимів роботи та надійності забезпечення інформацією про позиціонування, методів діагностики та компенсації збоїв в системі, синтезу дискретного фільтр Калмана та інтелектуального алгоритму корекції, а також розробки моделей отримання псевдореальних даних для моделювання та валідації роботи підсистеми.

**Четвертий розділ** присвячено експериментальному дослідженню запропонованої моделі робастної інерціальної багатосупутникової підсистеми позиціонування LeGNSS, включаючи синтезовані системи в

Matlab, моделі створення польотного завдання та сигналів керування БпЛА, моделювання та дослідження роботи розробленої схеми.

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

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

**Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

До нових результатів, одержаних у дисертаційній роботі, можуть бути віднесені:

– вперше розроблено: метод злиття інформації для багатосупутникової обробки даних про позиціонування на базі методів оптимальної обробки інформації та прямої корекції помилок з використанням інформації від LEO-супутників, що дозволяє підвищити стійкість процесу обробки даних та точність визначення позиціонування.

– удосконалено: методику оцінювання інформації в одному вимірному каналі про позиціонування, яка на відміну від відомих підходів враховує оцінку параметрів шляхом злиття даних від LEO-супутників, GNSS та INS, що дозволяє обробляти надлишкову інформацію в реальному часі та отримувати більш точні дані про позиціонування.

– 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.

– 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 швидко виходу в робочий режим після ініціалізації (2-5 с).

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

Усі основні результати дисертаційної роботи досить повно відображені у 20 наукових працях, серед яких: 7 статей у наукових фахових виданнях України, 3 статті в зарубіжних наукових виданнях, що індексуються у науково-метричній базі Scopus; 1 стаття в науковому журналі, 8 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій та 1 авторське свідоцтво. Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в

дисертаційній роботі Долінце Б.І., з необхідною повнотою викладені в опублікованих працях здобувача.

Положення дисертаційної роботи доповідались на 9 науково-технічних конференціях і семінарах державного та міжнародного рівнів що свідчить про достатній рівень обговорення та оприлюднення наукових здобутків здобувача серед фахівців галузі.

**Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Одержані нові наукові результати доведено до прикладних методик, які є частиною систем оцінки якості роботи систем позиціонування в підприємствах, що спеціалізується на розроблені, впроваджені та супроводженні в експлуатації БпЛА різних типів.

Результати досліджень впроваджено на наступних підприємствах:

1) Громадській Спільноті «Бізнес Інкубатор Груп. Україна» при оцінці точності обробки інформації про позиціонування під час реалізації проєктів розробки автономних безпілотних системи (акт впровадження від 06.10.2023);

2) Громадській Організації «Всеукраїнський Центр Реформ Транспортної Інфраструктури» для підвищення ефективності оцінки інформації позиціонування і діагностики точності її обробки в перспективних літальних апаратах (акт впровадження від 17.10.2023);

3) Асоціацією «КОСМОС» положення дисертації були рекомендовані до застосування під час розроблення, виготовлення, випробування, забезпечення процесів комп'ютерного моделювання для сучасних космічних та безпілотних літальних апаратів (акт впровадження від 24.10.2023);

4) Громадській Спільноті «Українська Авіатранспортна Асоціація», що об'єднує найбільші аеропорти та авіакомпанії України, при підготовці фахівців авіаційних підприємств в частині вивчення особливостей використання підходу побудови багато-супутникових систем позиціонування в авіаційній галузі (акт впровадження від 12.10.2023).

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані під час проектування нових та модернізації існуючих систем позиціонування БпЛА

різного призначення, а також для підвищення ефективності та безпеки їх експлуатації.

**Зауваження щодо змісту дисертації.** Загалом позитивно оцінюючи дане дослідження, слід зазначити, що окремі його положення потребують додаткової аргументації, або викликають певні зауваження та побажання:

1) У другому розділі можна було детально розглянути обмеження існуючих методів обробки інформації про позиціонування в БПЛА та провести їх порівняльний аналіз з розробленими в дисертації методами.

2) В роботі доцільно б було надати більш повний опис та аналіз зовнішніх впливів та можливих факторів що описують складні умови експлуатації, що впливають на роботу систем позиціонування і аргументувати їх вибір.

3) В роботі не розглянуто питання енергоспоживання та обчислювальної складності запропонованих алгоритмів обробки інформації, що є важливим аспектом для практичного впровадження в бортові системи БПЛА з обмеженим енергоресурсом.

4) При порівнянні існуючих методів та запропонованих засобів бажано було б привести більше існуючих програмних рішень для порівняння, що дало б краще уявлення про ефективність наведених у роботі методів.

5) При проведенні експериментальних досліджень бажано було б окремо оцінити вплив різних типів перешкод та завад на роботу системи LeGNSS та проаналізувати її стійкість в цих умовах.

6) Необхідно чіткіше формулювати рекомендації щодо практичного застосування розроблених методів та засобів для існуючих та перспективних систем позиціонування та керування БПЛА.

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

### **Загальний висновок.**

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 важливу задачу - 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.

Дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» (постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів №656 від 19 серпня 2015 року та №1159 від 30 грудня 2015 року), та вимогам до оформлення дисертації (Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 №40), а її автор Долінце Б.І. заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти.

**Офіційний опонент:**

завідувач відділу № 205 мікропроцесорної техніки  
Інституту кібернетики ім. С.М. Гуржійова  
НАН України  
Доктор технічних наук, професор



Володимир ОПАНАСЕНКО

Підпис	<i>В. Опанасенко</i>
<b>З А С В І Д Ч У Ю</b>	
Зав. канц.	<i>[Signature]</i>
ІК НАН України	<i>05.06.2024</i>