

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.03
Національного авіаційного університету.
03058, м. Київ,
проспект Любомира Гузара 1, НАУ

ВІДГУК

офіційного опонента, асистента кафедри радіотехнічних систем радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кандидата технічних наук Товкача Ігоря Олеговича на дисертацію КУЦЕНКА ОЛЕКСАНДРА ВІКТОРОВИЧА

«МЕТОДИ ДИФЕРЕНЦІЙНОЇ НАВІГАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ЗА СИГНАЛАМИ ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – Навігація та управління рухом.

Актуальність теми дисертації

Наш час характеризується неперервним зростанням попиту на авіаційні перевезення та авіаційні роботи. Ключовим елементом, який забезпечує ефективність і надійність експлуатації авіаційного транспорту є аеронавігаційне забезпечення, зокрема його радіонавігаційна складова. Особливо критичним є етап заходу на посадку повітряного судна, під час якого вимоги до аеронавігаційного забезпечення підвищуються.

Окремою категорією є безпілотні літальні апарати (БПЛА) які зараз стрімко розвиваються. У перспективі повноцінна інтеграція БПЛА до єдиного повітряного простору вимагатиме забезпечення контролю та управління їх рухом. При цьому вимоги до точності навігаційної системи збільшуються пропорційно до зменшення розмірів БПЛА.

В той же час, розгортання сучасних сертифікованих категорійних радіомаячних систем є нерентабельним для невеликих аеродромів та посадкових майданчиків через високу вартість встановлення та щорічного обслуговування даного обладнання.

Тому актуальною **науковою задачею** є розробка методів диференційної навігації повітряних суден за сигналами глобальних навігаційних супутникових систем, що має важливе значення для підвищення безпеки польотів.

Варто відзначити, що наукова задача, яка вирішується в дисертації узгоджується з пріоритетними напрямками які зазначені в «Національній

транспортній стратегії України на період до 2030 року» схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р (зі змінами).

Про актуальність теми дисертації свідчать десятки публікацій західних дослідників, а також той факт, що частина досліджень отримана автором при виконанні семи науково-дослідних робіт та однієї міжнародної грантової угоди Горизонт 2020.

Достовірність наукових результатів підтверджується:

- коректною постановкою задачі, використанням апробованого математичного апарату і зокрема методів та моделей рекомендованих провідними авіаційними організаціями;
- значною кількістю даних, отриманих шляхом польотних експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання;
- впровадженням результатів, про що свідчать два акти реалізації, наведені в дисертаційній роботі в додатку Б;

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

Наукові положення та висновки, які розроблені у дисертації, є достатньо обґрунтованими і достовірними, що підтверджується опрацюванням 108 літературних джерел, серед яких, праці провідних вітчизняних та закордонних вчених із означеної проблематики, та належною апробацією результатів дисертаційної роботи.

Представлені наукові положення і висновки базуються на фундаментальних положеннях теорії супутникових радіонавігаційних систем, застосуванні сучасного як апаратного так програмного інструментарію та аналітичній обробці достатнього обсягу отриманої інформації.

У дисертаційній роботі автор для вирішення поставлених наукових завдань використав широкий перелік загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, а саме методи математичного аналізу, теорії супутникових радіонавігаційних систем, статистичної теорії оцінювання параметрів, векторної алгебри і матричних обчислень. Також використовувались методи математичного моделювання. Функціональність розроблених методів перевірялась в умовах напівнатурних експериментальних досліджень в кінематичному режимі.

Новизна одержаних результатів

До найбільш суттєвих нових наукових результатів дисертації відносяться наступні:

1. Вперше для multi-GNSS, розроблено метод оцінювання точності визначення координат повітряного судна з використанням різних комбінацій

сигналів супутникових систем: GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou, що дозволяє оцінити в кінематичному режимі точність навігаційної системи при виконанні запланованої операції: маневру в зоні аеродрому, здійснення заходу на посадку з вертикальним скеровуванням і по категорії.

2. Вперше для multi-GNSS, розроблено метод оцінювання цілісності супутникової системи посадки повітряного судна з використанням різних комбінацій сигналів супутникових систем: GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou, що дозволяє отримати відсоток хибної дієздатності та хибної недієздатності супутникової системи посадки для різних комбінацій супутникових систем.

3. Удосконалено модель тропосферної затримки MOPS RTCA DO-229, додана можливість оцінки висоти тропосферної шкали і індексу тропосферної рефракції, що дозволяє використовувати дану модель для оцінювання залишкової тропосферної затримки після здійснення диференційної корекції псевдовідстані в супутниковій системі посадки.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень полягає в тому, що розроблені методи і моделі можуть бути застосовані для диференційної навігації з використанням сигналів новітніх супутникових радіонавігаційних систем GALILEO і BeiDou які знаходяться на завершальних стадіях введення в експлуатацію.

Практична значимість та важливість для галузі полягає в наступному:

1. Розроблена методика перетворення координат повітряного судна в локальну топоцентричну систему координат пов'язану з злітно-посадковою смугою XYV яка визначається за параметрами фінального сегменту заходу на посадку які наземна підсистема для здійснення посадки за приладами передає на борт повітряного судна.

2. Удосконалена модель тропосферної затримки MOPS RTCA DO-229 дозволяє оцінювати залишкову тропосферну затримку після здійснення диференційної корекції псевдовідстані за відсутності метеорологічних даних. На відміну від стандартної моделі область застосування удосконаленої моделі розширена до застосування в системі посадки за приладами яка відповідає концепції GBAS.

3. Розроблений апаратно-програмний комплекс що реалізує створені методи і моделі і дозволяє в умовах напівнатурного моделювання досліджувати точність та цілісність навігаційного рішення при здійсненні посадки за приладами з використанням спільної обробки сигналів кількох супутникових систем GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou.

4. Розроблене програмне забезпечення апаратно програмного комплексу частково може бути використано в якості прототипу для створення системи посадки за приладами з використанням спільної обробки сигналів кількох супутникових систем GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou.

5. Експериментально досліджено точність визначення координат повітряного судна при здійсненні посадки за приладами з використанням спільної обробки сигналів кількох супутникових систем GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou, для різних комбінацій супутникових систем.

6. Експериментально отримано відсоток хибної дієздатності та хибної недієздатності супутникової системи посадки за приладами з використанням спільної обробки сигналів кількох супутникових систем GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou для різних комбінацій супутникових систем.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України

Дисертація містить анотацію українською та англійською мовами, список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації, список публікацій здобувача, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета і завдання дослідження, об'єкт, предмет і методи дослідження, вказано наукову новизну результатів та їх практичну значимість, наведені дані про особистий внесок здобувача, впровадження результатів, їх апробацію та публікації.

У першому розділі проведений аналіз документів провідних організацій та наукових публікацій в авіаційній і космічній галузях. Аналіз показав, що актуальною задачею є розробка і експериментальне дослідження нових і удосконалених методів диференційної навігації для здійснення посадки за приладами повітряних суден з використанням сигналів супутникових навігаційних систем як вже існуючих GPS, ГЛОНАСС так і тих, що знаходяться на стадії розробки GALILEO і BeiDou. В розділі представлені задачі дослідження які необхідно вирішити для здійснення поставленої мети.

У другому розділі описується фінальний сегмент заходу на посадку параметри якого отримує бортова підсистема системи посадки для здійснення операції посадки, а також представлена методика перерахунку координат повітряного судна з глобальної геоцентричної системи координат у систему координат пов'язану з злітно-посадковою смугою.

Надається узагальнення похибок які виникають в системі посадки за приладами по сигналам навігаційних супутникових систем. Описано існуючі і розроблені методи і моделі які дозволяють зменшити вплив даних похибок. Зокрема розглянуто метод згладжування кодових вимірів фазою несучої котрий зменшує високочастотні похибки оцінки псевдовідстаней. Також представлено модель залишкової іоносферної затримки та модель вкладу бортової підсистеми в похибку визначення псевдовідстані.

Розроблена нова модель залишкової тропосферної затримки після здійснення диференційної корекції псевдовідстані. Дана модель є удосконаленням моделі MOPS RTCA DO-229, ключовою особливістю якої є можливість її застосування за відсутності метеорологічних даних.

У **третьому розділі** представлені існуючі і розроблені методи оцінки точності визначення координат і цілісності супутникової системи посадки.

Описаний метод виявлення збоїв в наземній підсистемі відбувається за допомогою порівняння між собою даних кожного з опорних приймачів наземної підсистеми.

Розглядається метод визначення вкладу наземної підсистеми в похибку скоректованої псевдовідстані. Також представлені граничні параметри даного вкладу, по яким наземною підсистемою приймається рішення про можливість передачі коректуючої інформації для певного навігаційного супутника.

Представлено розроблений метод оцінювання точності визначення координат повітряного судна при здійсненні посадки за приладами з використанням спільної обробки сигналів супутникових систем GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou.

У **четвертому розділі** представлений розроблений апаратно-програмний комплекс що реалізує створені методи і моделі і дозволяє в умовах напівнатурного моделювання досліджувати точність та цілісність навігаційного рішення при здійсненні посадки за приладами з використанням спільної обробки сигналів супутникових систем GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou.

Описане апаратне забезпечення комплексу, програмне забезпечення для отримання довготривалих вимірів навігаційних приймачів та програмне забезпечення для визначення еталонних координат і траєкторій.

Презентоване програмне забезпечення “Multi GBAS” яке розроблене для реалізації розглянутих в дисертаційній роботі методів. Дане програмне забезпечення дозволяє за даними з навігаційних приймачів провести моделювання роботи наземного функціонального доповнення GBAS глобальної супутникової навігаційної системи GNSS. При цьому підтримуються такі системи супутникової навігації як GPS, ГЛОНАСС, GALILEO та BeiDou.

У **п'ятому розділі** описані льотні випробування розробленого апаратно-програмного комплексу, які відбувалися на квадрокоптері. Та надані результати обробки даних отриманих в ході експерименту, зокрема:

- оцінка вкладу наземної підсистеми в похибку визначення псевдовідстані протягом проведення експерименту;

- еліпсоїди похибок та їх параметри навігаційної системи при здійсненні посадки за приладами з використанням спільної обробки сигналів супутникових систем GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou, для різних комбінацій супутникових систем

- оцінка цілісності при сумісному використанні чотирьох супутникових навігаційних систем GPS, ГЛОНАСС, GALILEO і BeiDou, а також додаткові параметри які надають уявлення про обстановку навігаційного поля

- відсоток хибної дієздатності та хибної недієздатності супутникової системи посадки за приладами з використанням спільної обробки сигналів

супутникових систем GPS, GLONASS, GALILEO і BeiDou для різних комбінацій супутникових систем

Оцінка мови та стилю викладення дисертації і автореферату.

Мова та стиль дисертації та автореферату відповідають вимогам МОН України. Сформульовані у дисертаційній роботі основні положення, висновки та рекомендації викладені у логічній послідовності, і підтверджуються розширеними результатами комп'ютерного моделювання, що значно сприяє усвідомленню думок автора. Всі розділи дисертації мають внутрішню єдність і завершеність. Змістове наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому, дисертаційна робота сприймається як закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях

Наукова новизна достатня для кандидатської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою в 14 наукових працях, з яких 7 статей у фахових виданнях (2 із них у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз Web of Science, SCOPUS) 1 розділ монографії та 6 публікацій у матеріалах доповідей науково-технічних конференцій.

Структура і обсяг дисертації

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, одного додатку. Робота містить 169 сторінки, в тому числі 163 сторінок основного тексту, 92 рисунка, 3 таблиці. Список використаної літератури включає 87 найменувань. Додаток розміщено на 6 сторінках.

Апробація і публікація результатів

Матеріали дисертації та основні положення, отримані в роботі, представлялися та пройшли апробацію на 6 вітчизняних та міжнародних науково-технічних конференціях: X Міжнародна науково-технічна конференція (ABIA-2011) НАУ, Київ; Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2013) ХДМА, Херсон; IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD 2017) NAU, Kyiv; IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC – 2018) NAU, Kyiv; IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD – 2019)

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну та практичну значимість.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. В аналітичному огляді значна увага приділена глобальним навігаційним супутниковим системам і їх наземним функціональним доповненням. Проте, не відображені питання їх практичної реалізації. Лише вказано, що такі системи першої категорії посадки є в наявності в деяких аеропортах.

2. В дисертаційній роботі, зокрема в таблиці 1.2 (підрозділ 1.5) присутні такі поняття як точність, цілісність і неперервність, проте відсутні їх чіткі словесні визначення.

3. Словесний опис похибок які виникають в супутниковій системі посадки (підрозділ 2.2) було б доцільно об'єднати з аналітичною частиною (підрозділи 2.3 – 2.6), а не виносити в окремий розділ.

4. В підрозділі 5.1 при описі експериментальних досліджень надані посилання на методику відпрацьовану автором в ході виконання науково-дослідних робіт, проте варто було б представити хоча б в скороченому вигляді планування експерименту, для більш повного розкриття методів і моделей які проходили апробацію.

5. Присутні незначні стилістичні і орфографічні помилки. Зокрема, одиниці вимірювання на стор. 40 – МГц., а на стор. 47 – м. необхідно писати окремо від цифрових значень. В назвах деяких підрозділів в кінці стоїть крапка а інших ні.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку наукових і практичних результатів, наведених у дисертації.

Висновок

Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, представляє собою логічно завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати, які в сукупності є розв'язанням наукового завдання – розробки методів диференційної навігації повітряних суден за сигналами глобальних навігаційних супутникових систем, що має важливе значення для підвищення безпеки польотів, та відповідає вимогам п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року, а здобувач **Куценко Олександр Вікторович** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом.

Асистент кафедри Радіотехнічних систем Радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кандидат технічних наук

«7» вересня 2021 р.

М.Р.

