

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.062.03  
Національного авіаційного університету  
доктору технічних наук, професору.  
Хращевському Р.В.

### **ВІДГУК**

офіційного опонента, професора кафедри Комп'ютерних інформаційних систем та технологій Міжрегіональної академії управління персоналом, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Чепіженка Валерія Івановича на дисертаційну роботу 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

#### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Розвиток світової транспортної галузі призводить до значної інтенсифікації застосування технологій позиціонування за даними глобальних навігаційних систем для різноманітних класів динамічних об'єктів, таких як: пілотовані і безпілотні літальні апарати, наземні транспортні засоби, мобільні роботи, тощо. Відбувається розширення кола задач і діапазонів експлуатації динамічних об'єктів одночасно зі збільшенням трафіку. За даних умов значно підвищуються вимоги до точності визначення координат динамічних об'єктів за даними глобальних навігаційних супутникових систем.

У зв'язку з зазначеним, дисертаційна робота Куценка О.В., в якій розв'язується науково-прикладна задача розробки методів диференційної навігації повітряних суден за сигналами глобальних навігаційних супутникових систем, що має важливе значення для підвищення безпеки польотів, є актуальною.

#### **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується і забезпечується коректним застосуванням відомих сучасних методів і засобів наукових досліджень, а саме методів математичного аналізу, теорії супутникових радіонавігаційних систем, статистичної теорії оцінювання параметрів, векторної алгебри, матричних обчислень, а також методів математичного моделювання.

Міра обґрунтованості висновків та рекомендацій, що базуються на отриманих результатах аналітичних та комп'ютерних досліджень, достатня для практичного застосування на етапах проектування систем навігації.

51.13/166  
09.09.2021



### **3. Достовірність отриманих результатів.**

Достовірність наукових результатів підтверджується:

- коректною постановкою задачі, використанням апробованого математичного апарату і використанням вихідних даних, наближених до реальних;
- значною кількістю експериментальних даних, отриманих шляхом комп'ютерного моделювання, та порівняльним аналізом отриманих результатів з результатами натурних експериментальних досліджень;
- апробацією результатів дисертаційних досліджень на широкому колі наукових конференцій, участю у виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт та міжнародної грантової угоди з тематики дисертаційного дослідження
- переліком організацій, які їх використовують у виробничих процесах, при проведенні наукових досліджень та у навчальному процесі, про що свідчать акти реалізації, наведені в дисертаційній роботі.

### **4. Новизна наукових результатів, отриманих в дисертаційній роботі.**

Аналіз рукопису дисертації і публікацій автора за тематикою дисертаційних досліджень дозволяє визначити головні нові наукові результати:

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.

### **5. Практична цінність дисертаційної роботи полягає в наступному:**

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.

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.

Розроблений апаратно-програмний комплекс, який 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.

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.

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.

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.

Результати досліджень впроваджено в розробках: Державного підприємства «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління»; Державного підприємства Науково-дослідний інститут «Квант».

## **6. Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеності в цілому, відповідність оформлення дисертаційної роботи вимогам МОН України.**

Дисертаційна робота Куценка Олександра Вікторовича оформлена відповідно до вимог, що висуваються до чинних документів.

Дисертаційна робота 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 108 найменувань. Додаток розміщено на 6 сторінках.

У **першому розділі** автор провів 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 кодівих 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 корегуючої 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 виконувались на квадрокоптері. Задokumentовано 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.

**Загальні висновки** логічно впливають із представленого здобувачем матеріалу і відбивають найбільш вагомі наукові і практичні результати дисертаційної роботи та свідчать про досягнення поставленої мети.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що структура та зміст дисертаційної роботи повністю відповідає існуючим вимогам. Зміст дисертаційних досліджень викладено лаконічно. Структурні розділи дисертації містять усі необхідні для проведеного дослідження положення і висновки. Робота достатньо проілюстрована графіками й рисунками, а стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків забезпечує доступність їх сприйняття. Дисертація є завершеною науковою працею, її оформлення повністю відповідає вимогам МОН України. Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи.

#### **7. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових фахових виданнях.**

Усі основні наукові результати отримані автором особисто та у повному обсязі опубліковані у формі наукових праць.

За темою дисертації опубліковано 27 наукових праць, у тому числі 5 статей у фахових наукових виданнях України (1 з яких включено до міжнародної наукометричної бази Scopus), 2 статі в міжнародних фахових журналах за кордоном, (1 з яких включено до міжнародної наукометричної бази Scopus), 1 розділ монографії, 4 патенти на корисну модель, 1 авторське свідоцтво на твір.

#### **8. Недоліки дисертаційної роботи.**

Метою дисертаційної роботи є розробка і експериментальне дослідження нових і удосконалених методів диференційної навігації повітряних суден за сигналами multi-GNSS, при виконанні операцій: маневру в зоні аеродрому, здійснення заходу на посадку з вертикальним скеровуванням і по категорії. У зв'язку з цим виникає низка питань, що, на мій погляд, не достатньо розкриті в дисертаційній роботі, зокрема:

1. В підрозділі 2.1 представлений матеріал щодо прив'язки особливих точок злітно-посадкової смуги до координат. Було б доцільно провести аналіз яким чином дані операції реалізовані (чи не реалізовані) в системах посадки, розглянутих в підрозділі 1.3.

2. Нажаль, в дисертаційній роботі не розглядаються процедури передачі диференційних корекцій і параметрів цілісності глобальної супутникової навігаційної системи на борт повітряного судна.

3. Підрозділ 3.3 має назву «Метод оцінки точності системи в тривимірному просторі» тоді як судячи з виразу 3.3 вектор стану має розмірність сім.



4. В підрозділах 5.3 і 5.4 в таблицях наведені параметри для 15 різних комбінацій сигналів супутникових систем: GPS, ГЛОНАСС, GALILEO і BeiDou. Було б доцільним описати критерії і процедури вибору оптимальної комбінації цих супутникових систем.

5. Представлення методу оцінювання цілісності навігаційної системи в авторефераті обмежується лінгвістичним описом. Бажано б було підсилити автореферат наведеними в підрозділі 3.4 математичними формулами.

6. Мають місце окремі стилістичні і редакційні неточності, наприклад, в підрозділі 4.4 підпис до рисунку 4.10 виглядає як «інтерфейс комп'ютерної програми», а в тексті дисертації те саме називається «інтерфейс програмного забезпечення».

Зазначені недоліки не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, її наукової і практичної цінності.

#### 9. Загальні висновки та оцінка дисертації в цілому.

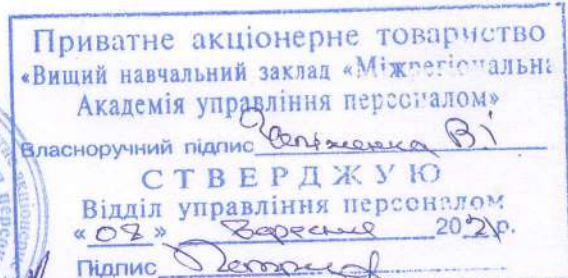
Дисертаційна робота Куценка Олександра Вікторовича «Методи диференційної навігації повітряних суден за сигналами глобальних навігаційних супутникових систем» є завершеною науково-дослідною працею, результати якої мають наукову новизну і практичне значення та у сукупності є розв'язанням науково-технічної задачі розробки методів диференційної навігації повітряних суден за сигналами глобальних навігаційних супутникових систем, що має важливе значення для підвищення безпеки польотів.

Зміст дисертаційної роботи та науково-прикладні результати відповідають паспорту спеціальності 05.22.13 – навігація та управління рухом.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р.

Таким чином здобувач Куценко Олександр Вікторович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом.

Офіційний опонент,  
професор кафедри Комп'ютерних  
інформаційних систем та технологій  
Міжрегіональної академії управління  
персоналом,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник



В.І. Чепіженко

Підпис професора кафедри Комп'ютерних інформаційних систем та технологій Міжрегіональної академії управління персоналом, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Чепіженка Валерія Івановича, засвідчую.