

Відгук офіційного опонента

доктора технічних наук Жили Семена Сергійовича

на дисертаційну роботу Яковченка Олександра Івановича

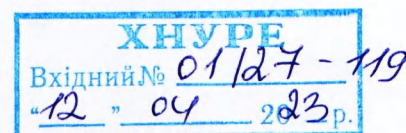
«РОЗВИТОК МЕТОДІВ ВИСОКОТОЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
РУХУ НИЗЬКООРБІТАЛЬНИХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ПО БОРТОВИМ
СПОСТЕРЕЖЕННЯМ СИГНАЛІВ ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ
СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ»,

що подана на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.12.17 — радіотехнічні та телевізійні системи

Актуальність обраної теми дисертаційної роботи

Значний інтерес науковців більшості країн світу завжди був прикутий до низькоорбітальних космічних апаратів, що можуть спостерігати підстильну поверхню з високою роздільною здатністю, декілька разів за добу повторно оглядати обрану ділянку Землі, розміщувати на борту апаратуру без особливих вимог до захисту від радіаційного опромінення та використовувати радіолінії керування та передачі даних з підвищеною енергоефективністю. Яскравими прикладами реалізації космічних систем з зазначеними перевагами низькоорбітальних апаратів є космічне угруповання супутників передачі даних Starlink, радары з синтезуванням апертури на супутниках Sentinel-2, TerraSAR-X і ICEYE, гіперспектральні системи формування оптичних зображень високої точності на супутниках GeoEye, Landsat і ALOS.

Зазначені низькоорбітальні супутники класифікують як середні та малі, проте останні п'ять років спостерігається сплеск зацікавленості учених до розширення місій з використанням наносупутників формату CubeSat та їх угруповань (сузір'їв). Це пов'язано з такою їх перевагою, як дешевизна виготовлення і запуску. Для спрощення визначення координат CubeSat на орбіті зазвичай на борту встановлюються приймачі сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) та реалізуються методи їх обробки.



Точність визначення положення супутника у просторі впливає на якість прив'язки та обробки цільової інформації, що формується корисним навантаженням CubeSat, та значним чином визначає подальшу можливість ефективного використання цієї інформації споживачем.

Найбільш поширеним режимом визначення координат низькоорбітальних космічних апаратів є режим абсолютного (недиференціального) точного позиціонування за сигналами ГНСС, що в літературі зазвичай називається PPP режим (від англійської назви Precise Point Positioning). Даний режим реалізується в приймачах останні 20 років і передбачає обробку сигналів з точністю до фази з наступним розв'язанням фазової неоднозначності. Існуючі методи PPP-рішень з одного боку досягли високої точності - сантиметрової в статичному режимі і дециметрової в кінематичному режимі, а з іншого потребують подальшого удосконалення для успішного вирішення таких задач, як високоточне радіобачення, гіперспектральна зйомка надвисокої чіткості, формування цифрової моделі висот поверхні Землі з сантиметровою точністю. Проблемними питаннями розвитку методів режиму PPP в бортових навігаційних приймачах є підвищення точності визначень параметрів руху, зменшення часу збіжності PPP-рішення та збільшення надійності розв'язання фазової неоднозначності.

Приймаючи до уваги перспективність використання низькоорбітальних супутників, світовий тренд запуску наносупутників формату CubeSat та необхідність високоточного визначення їх положення на орбітах, можна стверджувати, що тема дисертаційної роботи Яковченка Олександра Івановича «Розвиток методів високоточного визначення параметрів руху низькоорбітальних космічних апаратів по бортовим спостереженням сигналів глобальних навігаційних супутникових систем» є актуальною і перспективною, а визначені науково-прикладні задачі потребують вирішення.

Зв'язок дисертаційних досліджень з науковими програмами, науково-дослідними роботами. Актуальність обраної теми дослідження також

підтверджується виконаними 14 науково-дослідними та дослідно-конструкторськими роботами, де автор був виконавцем.

***Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій,
сформульованих у дисертації***

Висновки та рекомендації, які наводяться у дисертації, є наслідком ґрунтовного опрацювання основних задач дослідження, пов'язаних з розвитком методів, алгоритмів і процедур автономного (недиференціального) позиціонування НКА та навколоземних об'єктів сантиметрової/дециметрової точності, включаючи пошук та дослідження нових алгоритмів «плаваючого» (float) і дискретного/цілочисельного (fixed) розв'язання фазової неоднозначності бортових двохчастотних фазових ГНСС-спостережень в автономному (недиференціальному) режимі точного позиціонування PPP.

Підходи до вирішення поставлених задач базуються на сучасних теоретичних засадах функціонування супутникових радіонавігаційних систем, статистичній теорії обробки радіосигналів, методах математичного аналізу та імітаційного моделювання.

Запропоновані у дисертаційному дослідженні рекомендації щодо підвищення точності визначення координат базуються на всебічному аналізі монографій, статей та матеріалів міжнародних конференцій.

Достовірність отриманих результатів підтверджена передусім експериментальним шляхом: виконано 6 сеансів реальних спостережень ГНСС-приймачів НКА COSMIC і GRACE, а також 47 сеансів спостережень мережі перманентних станцій України.

Основні результати апробовані на вітчизняних і міжнародних наукових та науково-технічних конференціях і досить добре обґрунтовані.

Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень

На підставі проведеного аналізу змісту роботи можна зробити висновок про наявність наукової новизни отриманих результатів, що полягає в

наступному:

1. Отримали подальший розвиток методи та алгоритми реалізації високо-точних автономних (недиференціальних) координатних PPP-рішень, включаючи розв'язання початкових неоднозначностей фазових ГНСС-спостережень шляхом отримання «плаваючого» (float) та/або дискретного/цілочисельного (fixed) рішень і їхніх модифікацій як для вимірювань на борту низькоорбітальних космічних апаратів, так і для приземних вимірювань.

Запропоновані нові та вдосконалені існуючі методи і алгоритми реалізації PPP-позиціонування, що дозволяють більш надійно виконувати розв'язання фазової неоднозначності спостережень на значно менших інтервалах збіжності/ініціалізації рішень та потім - виконувати позиціонування на сантиметровому рівні точності. Запропоновані методи та алгоритми, на відміну від відомих, мають підвищену надійність і зменшений інтервал розв'язання фазової неоднозначності, а також покращену точність PPP- позиціонування.

2. Розроблено новий більш ефективний алгоритм РФН спостережень різницевої частоти «Wide-Lane» (WL) з використанням лінійної комбінації спостережень Melbourne-Wübbena. Запропоновано новий підхід до формування порогових значень з метою більш надійної верифікації WL-рішень, який дозволяє надійно виконувати РФН за 8÷10 хвилин.

3. Для досягнення надійного дискретного/цілочисельного РФН при статичному та кінематичному PPP-позиціонуванні приземних об'єктів та НКА запропонована нова реалізація метода і алгоритмів оцінювання інструментальних фазових затримок в апаратурі супутників ГНСС (GPS), які можуть формуватися по спостереженням не тільки глобальних, а й регіональних мереж ГНСС-станцій (зокрема, української мережі перманентних станцій). При цьому, на відміну від відомих підходів, оцінки інструментальних фазових затримок супутників ГНСС виконуються для різницевої частоти (довжина хвилі $\sim 86,2$ см) і частоти фазових

«безіоносферних» комбінацій (довжина хвилі ~ 10.7 см) і не розщеплюються на окремі затримки спостережень частот-носіїв, внаслідок чого ці оцінки абсорбують остаточні похибки ефемерид і годинників супутників, що в свою чергу, підвищує надійність дискретного/цілочисельного РФН та досяжність сантиметрової точності PPP-рішень при прийнятному рівні їх ініціалізації/збіжності.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи

Практична значимість і цінність одержаних результатів дисертаційної роботи підтверджена актами впровадження у наступних підприємствах та організаціях: ДП «ЗАО НДІРВ», Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Харківський національний університет радіоелектроніки.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, визначається коректним використанням строгих математичних методів побудови математичних моделей функціонування систем супутникової радіонавігації, теоретичними розробками попередніх дослідників у даній галузі і перевіркою адекватності запропонованих моделей обробки сигналів ГНСС експериментальними дослідженнями.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Наукові та практичні результати роботи достатньо повно викладені у 1 статті, що входить до науково-метричної бази даних SCOPUS, 8 статтях у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, та апробовані на 25 міжнародних конференціях.

Зауваження до дисертаційної роботи

До недоліків дисертації можна віднести наступні:

1. В дисертації здобувач обмежився дослідженнями автономних PPP-методів точного позиціонування з використанням спостережень лише однієї глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) – GPS, у той час, як існують ще три подібних глобальних системи – Galileo (ЄС), BeiDou (Китай), ГЛОНАСС (РФ), що здатні підвищити точність моделювання іоносферних і тропосферних затримок та точність позиціонування.

2. У описах запропонованих автором нових та удосконалених методів обробки кодових і фазових ГНСС-спостережень для досягнення точних статичних та кінематичних PPP-рішень не надано пояснень щодо вибору референцних супутників та відповідного його впливу на результати.

3. В роботі не наведено аналізу можливостей використання/адаптації запропонованих методів і алгоритмів обробки ГНСС-спостережень для рішення задачі PPP в режимі реального часу, що потрібно при вирішенні багатьох практичних задач.

Проте відзначені недоліки не є визначальними для наукових результатів, що одержані в дисертації, і не впливають на її загальну оцінку, яка в цілому є позитивною. Теоретичний рівень і глибина пророби задач досліджень, наукова новизна, достатні обґрунтованість і достовірність основних нових результатів дозволяють говорити про подальше вдосконалення запропонованих методів обробки результатів ГНСС-спостережень в задачах PPP-позиціонування. Роботу побудовано, в основному, логічно та методично злагоджено, написано грамотно, доброю технічною мовою.

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Вважаю, що дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, направленим на вирішення актуальної науково-прикладної задачі створення, дослідження і експериментального тестування вдосконалених та нових методів, алгоритмів і процедур високоточного визначення параметрів руху

низькоорбітальних космічних апаратів та позиціонування навколоземних об'єктів з сантиметровою/дециметровою точністю у автономному (недиференціальному) режимі PPP по бортовим двохчастотним фазовим і кодовим спостереженням сигналів глобальних навігаційних супутникових систем.

Дисертаційне дослідження та рукопис не містять ознак академічного шахрайства, що підтверджено протоколом перевірки роботи на наявність текстових запозичень в системі UNICHECK.

За актуальністю обраної теми досліджень, науковою новизною і практичною значимістю їх результатів, робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України, а здобувач Яковченко Олександр Іванович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 — радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент

завідувач кафедри аерокосмічних радіоелектронних систем
Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

доктор технічних наук, доцент

5 квітня 2023 р.

Семен ЖИЛА

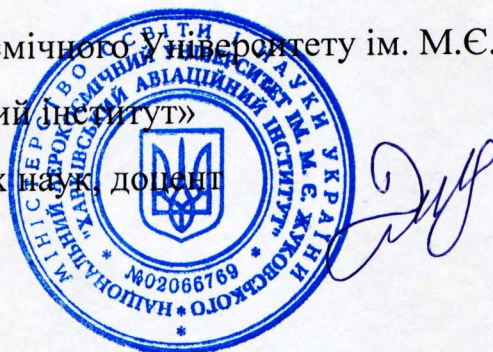
Особистий підпис **Жили Семена Сергійовича** засвідчую:

учений секретар

Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

кандидат філософських наук, доцент

___ квітня 2023 р.



Світлана ЧМИХУН