

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Калюжного Миколи Панасовича** «Особливості застосування радіоінтерферометричних методів для визначення елементів орбіт геостаціонарних супутників», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.01 – Астрометрія і небесна механіка

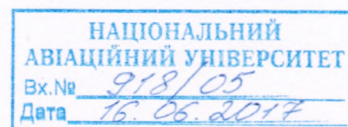
В наш час супутниковий зв'язок, теле- та радіомовлення, Інтернет широко використовуються у повсякденному житті. Але для повноцінного функціонування супутник має розташовуватись на унікальній орбіті - геостаціонарній. Перевага такої орбіти полягає у тому, що супутник, який знаходиться на ній, постійно розташовується в одній і тій же позиції, що дозволяє направляти на нього фіксовану антену наземної станції.

Зростаюча кількість телекомунікаційних геостаціонарних супутників (ТК ГСС) потребує цілодобового моніторингу та уточнення елементів орбіт, що є актуальною задачею.

Мета дисертаційної роботи Калюжного М. П. полягає у створенні мережі радіоінтерферометрів для безперервного контролю орбітального положення ТК ГСС та у створенні апаратної складової цієї мережі. А також, розробка методів обчислення елементів орбіти супутників за допомогою використання кореляційного аналізу для обчислення різниці в часі (TDOA) прийому рознесеними у просторі станціями стеження сигналів, випромінюваних супутниками.

Результати досліджень М. П. Калюжного викладені в основному тексті дисертації на 134 сторінках машинописного тексту в 4 розділах. Є 4 додатки. Список літератури налічує 98 джерел.

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано її актуальність та доцільність. Наведено відомості стосовно апробації результатів, публікації та особистий внесок здобувача.



Перший розділ «**Контроль положення геостаціонарних супутників Землі**» присвячено огляду літератури стосовно геостаціонарних супутників, їх характеристик та принципу розташування на геостаціонарній орбіті. Також наведено опис систем супроводу супутників.

У другому розділі «**Визначення орбітального положення ТК ГСС по радіоінтерферометричним вимірюванням**» наведені відомості як щодо сигналів цифрового супутникового телебачення DVB-S(S2), так і їхню структуру. Ці сигнали можна отримувати, використовуючи широко розповсюджене обладнання – побутові приймачі супутникового телебачення та двоканальні USB-осцилографи.

Запропонований автором спосіб уточнення положення максимуму кореляційної функції з використанням інтерполяції спектрів та перетворення Гільберта від кореляційної функції дозволяє обчислювати положення максимуму з точністю, яка не залежить від частоти дискретизації і є кращою, ніж період дискретизації при умові, що частота дискретизації є не меншою подвоєної частоти Найквіста.

Також проведено аналіз похибок обчислення TDOA сигналів, який показав, що суттєвими є похибки синхронізації станцій та інструментальні похибки.

Проведено аналіз збурень прискорення геостаціонарних супутників, який показав, що суттєвими є збурення, обумовлені впливом гравітації Місяця та Сонця, відхиленнями гравітаційного поля Землі від сферично-симетричного та тиском сонячного випромінювання.

Наведено спосіб обчислення орбітального положення ТК ГСС по вимірним значенням TDOA з використанням аналітичної моделі руху супутника SGP4/SDP4 та чисельної моделі інтегрування рівнянь руху супутника, яка враховує гравітаційне тяжіння Місяця і Сонця та гравітаційне тяжіння несферичної Землі.

У третьому розділі дисертаційної роботи «**Розробка та створення радіоінтерферометричної мережі моніторингу ТК ГСС**» автором наведено

відомості щодо розробки та виготовлення апаратно-програмного забезпечення станцій прийому та синхронної (по GPS) реєстрації фрагментів сигналу цифрового супутникового телебачення DVB-S. Створено мережу безперервного моніторингу ТК ГСС у складі з п'яти станцій, розташованих в містах Харків, Мукачеве, Рівне, Миколаїв (Україна) і Вентспілс (Латвія).

Автором розроблено програмне забезпечення станцій мережі, яке реєструє синхронні (по GPS) вибірки фрагментів сигналу цифрового супутникового телебачення, а також розроблено ПЗ кореляційної обробки цих вибірок та визначення TDOA.

Виконано перевірку функціонування мережі, яка складається з щодобового отримання вибірок цифрового супутникового телебачення, зареєстрованих станціями мережі, а також кореляційну обробку вибірок та обчислення параметрів орбіти контрольованого супутника за вимірними значеннями TDOA.

У четвертому розділі «Дослідження радіоінтерферометричної мережі моніторингу ТК ГСС» наведено результати аналізу роботи мережі, серед яких можна виділити наступні.

Проведено калібрування станцій мережі в умовах з нульовою базою та отримані значення апаратурних затримок сигналу цифрового супутникового телебачення. Мінімальна похибка визначення TDOA даним складом апаратурно-програмного комплексу станцій мережі становить  $\pm 7$  нс.

В режимі контролю обраного супутника за допомогою мережі із двох, чотирьох та п'яти станцій отримані масиви вимірних значень TDOA, загальна тривалість яких на початок 2017 року була більшою 800 діб. Визначено похибку вимірювання TDOA, яка становить  $\pm 8.7$  нс і обумовлена похибками синхронізації станцій мережі за допомогою GPS.

Проведено порівняння значень TDOA, вимірних радіоінтерферометричною мережею з обчисленими по елементам орбіти, визначеної за оптичними спостереженнями та за даними відкритого каталогу КО [www.space-track.org](http://www.space-track.org).

Використовуючи аналітичну модель SGP4/SDP4 та чисельну модель інтегрування рівнянь руху супутника, було визначено, що для чисельної моделі випадкова складова в середньому в 5.4 рази менша, ніж для моделі SGP4/SDP4 і не перевищує 13.2 нс, тоді як регулярна складова для обох моделей практично співпадає і знаходиться в інтервалі від  $-59.3$  нс до  $+44.8$  нс в залежності від базової лінії мережі.

Отримані похибки обчислення методом мультилатерації декартових координат супутника в системі координат WGS84 за даними одночасних вимірювань TDOA мережею із чотирьох станцій., що становлять 3540 м, 705 м і 455 м, відповідно, по X, Y і Z.

У **висновках** наведені основні результати дослідження, які полягають у наступному:

- ✓ Створено каталог елементів орбіти ТК ГСС «Eutelsat-13B» за результатами спостережень в 2015-2016 роках
- ✓ Вперше розроблено радіоінтерферометричний метод визначення різниці нахилених відстаней до контрольованого ТК ГСС, заснований на кореляційному аналізі сигналів DVB-S, які приймаються географічно рознесеними приймачами супутникового телебачення. На основі методу організовано і забезпечено функціонування мережі у складі із п'яти станцій, розташованих по всій території України (Харків, Мукачеве, Рівне, Миколаїв) і в Латвії (м. Вентспілс).
- ✓ Розроблено і впроваджено оригінальне програмне забезпечення для синхронної (по GPS) реєстрації географічно рознесеними станціями радіоінтерферометричної мережі фрагментів сигналів DVB-S та їх подальшої кореляційної обробки з метою оцінки TDOA.
- ✓ Впроваджено оригінальне програмне забезпечення для обчислення елементів орбіти ТК ГСС за даними вимірювань відносної затримки сигналів цифрового супутникового телебачення DVB-S. Проводиться

безперервне визначення орбітальних параметрів контрольованого ТК ГСС.

### **Деякі дискусійні зауваження до тексту дисертації**

1. Другий розділ перенавантажено теоретичними відомостями про ТК ГСС. Було б правильнішим цю інформацію перенести до першого розділу та скоротити. А другий розділ присвятити лише алгоритму визначенню TDOA, який використовував автор.
2. Було б більш доцільно приділити більше уваги програмному забезпеченню «DELNAO», яке розробив здобувач на мові програмування «Пітон» і яке використовується для розрахунків TDOA. Наразі «DELNAO» приділено лише чотири сторінки (77-80 стр.) у вигляді вхідних даних, а також наведено повний код у Додатку А. Проте наведення блок-схеми або ланцюжка логіки алгоритму розрахунків, які виконуються в програмі, сприяли б кращому розумінню алгоритму роботи. Цю інформацію слідувало б надати у другому розділі.
3. У третьому розділі, підпункт 3.1.1, наведення узагальненої таблиці з описом обладнання на станціях, загальних характеристик та періодом роботи на кожній станції сформувало б більш чітку картину про розташування та зміну обладнання.
4. Доречним було б з підпункту 3.3 перенести інформацію щодо створення мережі у перший підпункт третього розділу. Оскільки наведення загальної інформації про розташування станцій, їх принцип роботи та періоди спостережень супутників надасть більш чітке розуміння наступних підпунктів, починаючи з 3.1.



## **Зауваження з оформлення роботи**

1. На стр. 27 речення «Системи з кодовим дистанціюванням використовують псевдовипадковий код для модуляції несучої». Кого, чого? Має бути додано «частоти». Те саме на 35 та 66 стр.
2. На стр. 44 у формулі відносної затримки сигналів *не наведено розшифрування для  $\Delta T_d$* .
3. На стр. 45 у формулі 2.11 визначення  $N$  краще дати як *електронна концентрація*, ніж як *електронний вміст іоносфери*.
4. Словосполучення *GPS-приймач* та *GPS-антена* мають писатися *через дефіс*, а не окремо, як на стр. 49, 50, 74, 92 тощо.
5. На стр. 58, 74 та 77 зустрічаються словосполучення «*сирцевий код*». Слово «сирцевий» є сленговим і має бути замінено на «*вихідний код*» або «*первинний код*».
6. Абревіатура «*ТК ГСС*» у деяких випадках *написана разом* (стр. 34, 88, ТКГСС), хоча у *переліку скорочень* подана як «*ТК ГСС*».
7. *Посилання* у тексті роботи на *продукт*, що було використано, *OREKIT*, було б *доречним*.
8. В деяких джерелах зі списку літератури *імена автора/авторів* *вказано без скорочення*, як приклад, джерела 6, 8, 11, 13 тощо. Вимоги до скорочення наведено у ДСТУ 3582: 2013.

Проте, зроблені зауваження не впливають на загальне позитивне враження і не зменшують наукової цінності роботи та можуть бути виправлені в подальших працях здобувача.

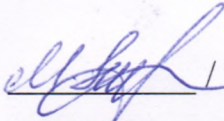
У цілому дисертація є завершеною роботою, яка містить нові, науково обґрунтовані результати. Робота має наукове та практичне значення для безперервного контролю орбітальних параметрів телекомунікаційних геостаціонарних супутників з використанням радіоінтерферометричної мережі.

Основні результати роботи опубліковані у міжнародних та вітчизняних фахових наукових виданнях, які у повній мірі відображають головну ідею виконаних досліджень та представлених результатів. Також результати апробовано на міжнародних фахових конференціях.

Автореферат повністю відповідає змісту дисертаційної роботи.

Таким чином, дисертаційна робота «Особливості застосування радіоінтерферометричних методів для визначення елементів орбіт геостаціонарних супутників» задовольняє усім вимогам Міністерства освіти і науки України до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, а її автор – Калюжний Микола Панасович – заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.01 – Астрометрія і небесна механіка.

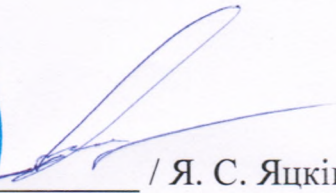
Офіційний опонент,  
кандидат фізико-математичних наук,  
науковий співробітник відділу  
Астрометрії та космічної геодинаміки  
Головної астрономічної обсерваторії  
Національної академії наук України

 / М. В. Іщенко  
8.06.2017

Підпис М. В. Іщенко ЗАСВІДЧУЮ

Директор Головної астрономічної  
Обсерваторії Національної академії  
наук України



 / Я. С. Яцків