

ВІДГУК

офіційного опонента

завідувача кафедри геодезії та землеустрою Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, доктора технічних наук, професора

Бурака Костянтина Омеляновича

на дисертаційну роботу Хоптар Аліни Андріївни

**«ТОМОГРАФІЯ ТРОПОСФЕРИ НА ОСНОВІ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ
МУЛЬТИ-GNSS СПОСТЕРЕЖЕНЬ»,**

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 193 Геодезія та землеустрій (галузь знань 19 Архітектура та будівництво)

Актуальність теми дослідження. До наукових проблем, вирішення яких можливе із використанням Глобальних Навігаційних Супутникових Систем (ГНСС), відносяться моніторинг та визначення параметрів обертання Землі, побудова референцних систем координат на Землі та в космосі, оцінювання та інтерпретація деформаційних полів Землі різних масштабів, дослідження атмосферних процесів тощо. В останні роки почалася нова епоха значних змін та інновацій з багатоканальними навігаційними системами – мульти-GNSS, що приносить великі можливості як для наукових, так і технічних застосувань, оскільки значне поліпшення видимості супутників, просторової геометрії, зумовлює підвищення точності та достовірності результатів супутникових вимірювань на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень. При поширенні ГНСС-сигналів через нижню частину атмосфери – тропосферу виникає затримка проходження сигналу, що зумовлене, в основному наявністю водяної пари. Тому визначення вмісту водяної пари в тропосфері необхідне для точного позиціонування за допомогою ГНСС, так як цей ефект є одним із обмежуючих факторів у точності проведення ГНСС-спостережень. У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи Хоптар А.А. «Томографія тропосфери на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень» є актуальною і своєчасною, відповідає вимогам сьогодення. Доцільність вибору теми дослідження та її актуальність підтверджуються ще й тим, що вона відповідає науковому напрямку кафедри вищої геодезії та астрономії Національного університету «Львівська політехніка» □ «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань».

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Дисертацію Хоптар А.А. «Томографія

тропосфери на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень» викладено на 175 сторінках комп'ютерного набору, складається вона із анотації, вступу, трьох розділів, висновків та списку літератури. Робота містить 24 таблиці, 44 рисунки, 2 додатки. Список літератури включає 154 найменування. Всі положення в дисертації викладені в логічній послідовності.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і завдання досліджень, визначено предмет, об'єкт та методи дослідження, а також розглянута наукова новизна і практичне значення отриманих результатів досліджень.

У першому розділі «Сучасні GNSS-технології та їх використання у дослідженнях атмосфери Землі» проведено огляд літературних джерел вітчизняних і закордонних авторів на предмет можливості дослідження параметрів тропосфери Землі за результатами опрацювання даних мульти-GNSS спостережень PPP-методом. Зокрема описані основні характеристики GNSS, принцип PPP-методу та його точність, застосування даних мульти-GNSS спостережень, методичні можливості відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі. На підставі вивчення літературних джерел сформульовано основні завдання проведення досліджень.

Другий розділ «Опрацювання даних мульти-GNSS спостережень PPP-методом та його застосування для тропосферних параметрів» присвячено аналізу можливостей отримання результатів опрацювання даних мульти-GNSS спостережень PPP-методом, а також їх застосування при визначенні тропосферних параметрів. Зокрема описані вхідні дані та процес опрацювання даних GNSS-спостережень, детально розглянуто та порівняно програмне забезпечення наукового рівня (Bernise GNSS Software, GAMIT/GLOBK, GipsyX). В результаті експериментальних досліджень автор пропонує методику, що реалізує уніфікований підхід визначення тропосферних параметрів (зенітних і похилих тропосферних затримок) за даними мульти-GNSS спостережень PPP-методом реалізований у GipsyX, які в подальшому використовуються для відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі.

У третьому розділі «Застосування даних мульти-GNSS спостережень та методу PPP для відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі» розроблено та реалізовано методику відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі методом GNSS-томографії за результатами попередньо обчислених похилих тропосферних затримок однієї GNSS-станції на основі даних мульти-GNSS спостережень PPP-методом. Для аналізу отриманих результатів GNSS-томографії тропосфери

Землі станції GANP було проведене порівняння з відповідними даними радіозондування розташованої неподалік аерологічної станції Попрад-Гановце, що показало достатній рівень узгодження. Запропонована методика вказує на її перевагу у порівнянні її з традиційними методами відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі.

Узагальнення і висновки, викладені безпосередньо в тексті дисертації цілком аргументовані, що свідчить про належний рівень наукової компетенції та професійної кваліфікації здобувача Хоптар А.А.

Достовірність наукових і практичних результатів підтверджується використанням сучасних наукових методів та програмного забезпечення, збіжністю даних теоретичних досліджень з результатами експериментальних досліджень, апробацією результатів на конференціях різного рівня, а також їх використання при проходженні спеціальних курсів, наукового стажування та тренінгу за кордоном.

Новизна наукових положень і практичне значення отриманих результатів. Наукова новизна одержаних результатів дисертації Хоптар А.А. «Томографія тропосфери на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень» засвідчується наступними пунктами:

□ Проаналізовано можливості застосування методу високоточних координатних визначень PPP за результатами мульти-ГНСС спостережень і виконана детальна, в тому числі і експериментальна оцінка точності визначення координат PPP методом , хоча це і не відображено в роботі, як наукова новизна.

□ Реалізовано і розроблено уніфікований підхід до оцінки зенітних та похилих тропосферних затримок за даними мульти-ГНСС спостережень і програмного забезпечення GipsyX.

□ Розроблено та реалізовано методику відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі з використанням горизонтального параметризованого підходу на підставі даних про похилі тропосферні затримки.

Важливо відзначити, що незважаючи на те, що вперше ідею ГНСС-томографії тропосфери було запропоновано ще у 1992, а перші експерименти були проведені у 2000 роках, до сьогодні ще не розроблено єдиної успішної моделі ГНСС-томографії тропосфери, що зумовлено було, в основному відсутністю достатньої кількості ГНСС-сигналів, а тепер, у зв'язку з появою мульти-ГНСС, дана задача може бути розв'язана, що і хоче показати автор дисертації. Також цікаво, що автор пропонує методику відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі на базі лише

однієї станції, що відрізняє дану роботу від багатьох інших в цьому науковому напрямі. Так, на противагу даного дослідження, можна пригадати роботи Маріуша Фігурського, який при аналізі тропосферних параметрів рекомендує статичні GNSS-спостереження від мережі станцій.

Представлені у дисертаційній роботі результати розв'язання наукового завдання відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі мають важливе значення для геодезії та метеорології, оскільки можуть використовуватись для вирішення багатьох задач моніторингу атмосфери і замінити, у перспективі, дороге вартісне радіозондування.

Повнота викладу в наукових публікаціях зарахованих за темою дисертації. У 12 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 1 публікація у науковому фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз даних, 2 публікації у наукових періодичних виданнях інших держав, 2 – у наукових фахових виданнях України та 7 публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та які додатково відображають наукові результати дисертації. Основні положення та результати наукових досліджень, що включені до дисертації пройшли апробацію на конференціях різного рівня.

Праці Хоптар А.А. відповідають п.11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. За результатами перевірки дисертації на наявність ознак академічного плагиату встановлено коректність посилань на першоджерело для текстових і ілюстративних запозичень. Звідси можна зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності в дисертації Хоптар А.А. «Томографія тропосфери на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень».

Дискусійні положення та зауваження по дисертації

Водночас, необхідно вказати і на зауваження щодо дисертації Хоптар А.А. «Томографія тропосфери на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень»:

- перший розділ переобтяжений загальними визначеннями, наприклад, "...фазові псевдовідстані – це...", "Принцип роботи GNSS-спостережень полягає у вимірюванні відстані від антени на об'єкті спостережень (координати якого необхідно отримати) до супутників...", "... Над тропопаузою лежить стратосфера, ..." тощо, в той же час ні в цьому розділі ні в дисертації не відображені такі питання, як, наприклад, яка реалізація методу PPP

використовувалася, а їх є по крайній мірі чотири і якщо в стандартній реалізації дані доступні через дві неділі після виконаних спостережень, то є і PPP RTK реалізація; які файли ефемерид і поправок годинників супутників використовувались (Predicted, Rapid, Final) і які можна використовувати тощо;

- навіть у списку літератури відсутнє посилання на відому монографію Mariusza Figurski, в якій проаналізовано і підсумовано результати досліджень визначення метеорологічних параметрів атмосфери на основі перманентних спостережень GPS до ери PPP спостережень;

- хоча аналізувались результати спостережень на багатьох GNSS станціях, кінцевий продукт у роботі представлений на базі словацької GNSS-станції GANP. слід пояснити цей вибір; на території України не має близько розташованих пар станцій такого типу ?

- зустрічаються невдалі вирази, окремі таблиці і графіки мають невдале розміщення даних та невдале оформлення, що ускладнює їх аналіз. Так, рисунки 1.4 (стор. 33), 2.11 (стор. 101), 2.12 (стор. 102), 2.15 (стор. 109), 2.16 (стор. 110), 3.5-36 (стор. 133-134), 3.7 (стор. 137), 3.10-3.11 (стор. 141-142), 3.12 (стор. 145), а також таблиці 2.1 (стор. 74-75), 3.3 (стор. 136) та 3.5 (стор. 143-144), які займають повну сторінку, бажано було б перенести до додатків.

- дисертація написана літературною українською науковою мовою, але зустрічаються декілька друкарських та стилістичних огріхів.

Крім того є зауваження, що мають дискусійний характер:

- якщо стверджувати, що точність PPP методу 1-2 мм, то слід відзначити, що це за результатами тільки порівняння повторюваності координат за різними пакетами програмних продуктів тощо. Тим більше, що є різні погляди на це питання, наприклад, які заперечують метод PPP, виходячи з того, що не витримується основний принцип геодезичних побудов – “від загального до часткового”(уточнюються ефемериди);

- бажано, щоб апробація запропонованої методики містила більше періодів спостережень на станціях з різними умовами : рівнина, гори , зима, літо, тим більше, що такі дані у автора були;

- дискусійним, на погляд рецензента є використання в методі PPP супутників ГЛОНАС, які вимагають врахування індивідуальної

часової затримки антена- процесор приймача.

– Автор інколи вживає абривіатуру GNSS замість GPS.

Однак, вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації Хоптар А.А. «Томографія тропосфери на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень», не знижують наукову новизну, не заперечують значущість та практичне значення її наукового доробку. Вважаю необхідним окремо відзначити, що в дисертації вперше в Україні не тільки розглядаються, але і дістали свій подальший розвиток питання PPP методу ГНСС спостережень, який є останнім досягненням науково-технічного прогресу у світі. Те що дисертант впровадила цей метод в практику ГНСС вимірів на Україні вперше, заслуговує на особливу увагу і подяку.

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України. У цілому, дисертація Хоптар А.А. «Томографія тропосфери на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень» є завершеною науковою працею, яка містить нові теоретичні положення і результати експериментальних досліджень направлені на відновлення вертикального профілю вмісту водяної пари в тропосфері Землі на основі опрацювання даних мульти-GNSS спостережень, що має важливе значення для геодезії.

Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами внесеними від 31.05.2019р.), «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167), а її автор – Хоптар Аліна Андріївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 Геодезія та землеустрій.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри геодезії та землеустрою
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу,
доктор технічних наук, професор



Бурак К.О.

К. О. Бурака
Учений секретар ІФНТУНГ

« 20 » р.