

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора кафедри геодезії,

землеустрою та геоінформатики

Ужгородського Національного університету

Каблак Наталії Іванівни

на дисертаційну роботу **Федорчук Аліни Володимирівни**

«Методика підвищення точності GNSS-нівелювання на основі

локального коригування висот глобальних моделей геоїда»

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво

та спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

1. Актуальність теми дисертації.

До появи Глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) визначення висот точок фізичної поверхні Землі, як і висот геоїда та квазігеоїда було можливим лише за допомогою наземних методів, які тепер називають класичними (або традиційними). Одним із таких методів є високоточне геометричне нівелювання. Однією з проблем методу високоточного геометричного нівелювання залишається доволі трудомісткий та затяжний процес робіт при визначенні нормальних чи ортометричних висот навіть для відносно невеликих територій. У гірській місцевості та важкодоступних місцях ці проблеми збільшуються у кілька разів.

З появою ГНСС-систем з'явився новітній метод щодо отримання висот земної поверхні який сьогодні відомий як ГНСС-нівелювання. Цей метод має суттєвий недолік, який проявляється у вигляді точності отриманих нормальних та ортометричних висот. Така проблема пов'язана з тим, що для реалізації методу ГНСС-нівелювання необхідно залучити два набори даних: 1) еліпсоїдну висоту отриману із даних ГНСС-спостережень та 2) висоту

геоїда чи квазігеоїда отриману з відповідної моделі. На сучасному етапі розвитку ГНСС-систем, більшою мірою, саме точність модельних висот геоїда та квазігеоїда є проблемою ефективного використання методу ГНСС-нівелювання у багатьох наукових та інженерних застосуваннях.

Метою дисертаційної роботи є розроблення методики локального коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей для підвищення точності методу ГНСС-нівелювання.

У дисертації використано методи математичного опрацювання практичних і експериментальних даних щодо похибок висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей. При проведенні досліджень авторка залучила методику локального моделювання похибок, яка базується на комплексному поєднанні інтерполяції, фільтрації та врівноваженні даних за принципом вагових функцій.

2. Обґрунтованість наукових положень висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертаційна робота Федорчук Аліни Володимирівни “Методика підвищення точності ГНСС-нівелювання на основі локального коригування висот глобальних моделей геоїда” складається з анотації, вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 218 сторінок, у тому числі 150 сторінок основної частини, включаючи 51 рисунок, 22 таблиці та 226 позицій списку літератури.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, актуальність теми дисертації, сформульовано мету, методи й задачі досліджень, окреслено основні наукові результати та їх новизну. Авторка наголосила, що для території України прийнята нормальна система відліку висот, і для успішної інтеграції результатів ГНСС-нівелювання в традиційну нівелірну мережу необхідно залучити саме високоточну модель квазігеоїда. При цьому, високоточну модель квазігеоїда слід розуміти, як таку, що може забезпечити отримання нормальних висот на основі методу ГНСС-нівелювання на рівні

точності стандартного та середньоквадратичного відхилення в 1-2 см.

У першому розділі на основі аналізу літературних джерел, щодо сучасних моделей відлікових поверхонь необхідних для реалізації методу ГНСС-нівелювання, виділено основні переваги та недоліки у порівнянні із класичними підходами щодо визначення поверхонь відліку висот. З проведеного аналізу авторка наголошує на тому, що сьогодні не існує якогось єдиного чи універсального підходу щодо моделювання високоточних відлікових поверхонь геоїда та квазігеоїда. Авторка зазначає, що розв'язати цю проблему можна шляхом коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня та порядку при уточненні даних на локальному рівні. Це пов'язано з тим, що дані глобальних моделей не мають потенційних помилок присутніх при моделюванні відлікових поверхонь у регіональному чи локальному масштабах.

У другому розділі розглянуто основні джерела похибок, що виникають під час виконання ГНСС-спостережень. Описано процедуру опрацювання ГНСС-спостережень при використанні стандартних програмних пакетів. Наведено послідовність етапів опрацювання ГНСС-даних з рекомендаціями для найточнішого забезпечення отримання координат та висот. Проаналізовано похибку визначення еліпсоїдних висот із даних ГНСС-спостережень та на практичному дослідженні встановлено, яким чином вона впливає на загальну точність результатів ГНСС-нівелювання. Отримані авторкою дані вказують, що величина похибки залежить від методу ГНСС-спостережень та типу нівелірного знаку, а її вплив на загальний результат може складати 2-19%. Також авторка наголошує, що для польових умов забезпечити точність визначення еліпсоїдних висот на рівні 1-2 см можна при виконанні ГНСС-спостережень відносним методом у статичному режимі строго дотримуючись інструкційних рекомендацій.

У третьому розділі авторка проаналізувала точність висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей, що були отримані на пунктах високоточного геометричного та водночас ГНСС-нівелювання. Враховуючи

детальний огляд різних типів сучасних моделей геоїда та квазігеоїда, авторка виокремила основні характеристики моделей, що безпосередньо впливають на загальну точність ГНСС-нівелювання. Проаналізовані регіональні моделі EGG2015 та УКГ2012 дали змогу авторці зробити висновок, щодо ряду суттєвих недоліків, які обмежують використання їх для вирішення багатьох високоточних наукових та практичних застосувань. За теоретичними та експериментальними даними проаналізовано параметри точності висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня та порядку – величину ондуляції геоїда нульового порядку та вибір системи припливів модельних висот. При цьому авторка наголошує, що навіть після правильного врахування цих чинників, висоти геоїда/квазігеоїда глобальних моделей все ж міститимуть систематичні похибки щодо прийнятої системи висот. Першочергове коригування висот глобальних моделей виконано на основі так званого секторного аналізу, що дало змогу зменшити систематичну складову до 2 см з огляду стандартного та середньоквадратичного відхилення. За результатами такого дослідження авторка зробила висновок, що для більш високоточного коригування модельних висот необхідно розробити складнішу методику з урахуванням чинників, що виявлені при секторному аналізі.

У четвертому розділі представлено розроблену авторкою методику локального коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня та порядку. Наведено результати коригування висот геоїда/квазігеоїда за принципом моделювання похибок ваговими коефіцієнтами різниць гравітаційних аномалій. Методика протестована на прикладі висот глобальних моделей EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, XGM2019e_2159 та реалізована на експериментальних даних отриманих для різних географічних територій локального масштабу. З метою виявлення оптимальних параметрів моделювання похибок детально проаналізовано масштаб, розмірність, рельєф тестових територій, а також кількість та конфігурацію контрольних пунктів. Показано методику перетворення

змодельованих похибок на поправки. Така методика забезпечує коригування висот геоїда/квазігеоїда моделей глобального масштабу до 1 см. У цьому розділі авторка також навела рекомендації щодо практичного застосування розробленої методики у регіональному масштабі для всієї території України з урахуванням конфігурації традиційної нівелірної мережі. Авторка дійшла висновку, що загальна точність методу ГНСС-нівелювання складає 1-2 см при отриманні еліпсоїдних висот із ГНСС-даних та 1 см для висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей після їхнього коригування.

У висновках наведено основні результати роботи. Достовірність наукових і практичних результатів підтверджується узгодженістю теоретичних напрацювань з наявними експериментальними даними. Викладені в дисертації висновки досить аргументовані теоретично-практичними розробками та експериментальними даними, що свідчить про належний рівень компетенції та професійної кваліфікації здобувачки.

3. Дискусійні положення, зауваження та пропозиції.

На основі аналізу теоретичних та розрахункових досліджень дисертаційної роботи Федорчук А. В. слід звернути увагу на деякі окремі зауваження:

- надто детально описуються загально відомі відомості, а саме: в розділі 1.2.1. Визначення координат та висот за даними GNSS-вимірювань на ст 40 подано детальний опис RINEX файлу; на ст 42, цього ж розділу, подається опис та історію створення мережі ZAKPOS; в розділі 2.1. Розгляд похибок GNSS-вимірювань, наведено загальновідомі речі, особливо ст. 64-70.

- запропонована у роботі методика локального коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей передбачає застосування методу інтерполяції даних. При цьому, для реалізації запропонованої методики потрібно підібрати певну функцію інтерполяції похибок висот глобальних моделей для невідомих пунктів. Серед чисельних методів інтерполяції даних, було вибрано Kriging-метод. Слід відмітити, що для репрезентативності висновків, авторці доцільно було б виконати порівняння результатів із

іншими методами інтерполяції, використовуючи ті самі масиви вихідних даних.

- Модель PL-quasi-geoid2021 має роздільну здатність $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ та розрахована для території Польщі на основі наземних гравіметричних даних, даних глобальної моделі геопотенціалу SGG-UGM-2 та цифрової моделі рельєфу SRTM_v4.1. Враховуючи досить високу точність моделі PL-quasi-geoid2021, та той факт, що вона охоплює західну частину території України, доцільно було б реалізацію методики локального коригування висот геоїда/квазігеоїда створити регулярну сітку з такою самою роздільною здатністю для польсько-української транскордонної території при використанні інтерполяційного Kriging-методу.

4. Новизна наукових положень і практичне значення отриманих результатів.

У дисертаційній роботі авторка запропонувала новий підхід щодо коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня та порядку з метою підвищення точності ГНСС-нівелювання. Новітній підхід базується на моделюванні похибок висот глобальних моделей з використанням вагових коефіцієнтів різниць гравітаційних аномалій. Отримано оптимальні параметри моделювання похибок для ділянок локального масштабу та запропоновано підхід щодо їхнього перетворення на поправки. Наведено рекомендації для створення поля поправок у регіональному масштабі на прикладі території України та її традиційної нівелірної мережі.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 13 наукових працях. Опубліковані роботи відповідають п. 11 Постанови Кабінету Міністрів України «Про присудження ступеня доктора філософії» №167 від 6 березня 2019 року, з них: 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої


держави, яке включене до міжнародних наукометричних баз даних; 4 статті у наукових фахових виданнях України; 8 публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та додатково відображають наукові результати дисертації.

6. Висновок про дисертацію в цілому та її відповідність чинним вимогам.

Дисертаційна робота Федорчук Аліни Володимирівни «Методика підвищення точності ГНСС-нівелювання на основі локального коригування висот глобальних моделей геоїда» є завершеною науковою працею і відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами внесеними від 12.07.2019), Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 зі змінами внесеними від 22.03.2022).

Офіційний опонент

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри геодезії,
землеустрою та геоінформатики
Ужгородського Національного університету



Наталія КАБЛАК

Підпис д.т.н., проф. Каблак Н. І. засвідчую

Вчений секретар
к.т.н., доц.



Олена МЕЛЬНИК