

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, доцента, професора кафедри інженерної геодезії

Київського національного університету будівництва і архітектури

Анненкова Андрія Олександровича

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.

Раніше ортометричні або нормальні висоти отримували за допомогою підходу високоточного геометричного нівелювання, який включав обчислення перевищення між відомою та невідомою точками висоти з урахуванням гравіметричних коригувань у висоти точок пунктів нівелювання. Числові значення висот, отримані таким чином, встановлюють традиційну національну систему відліку висот. Проте традиційне високоточне нівелювання є трудомістким та дорогим методом визначення висот точок фізичної поверхні Землі. З появою Глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) з'явився альтернативний метод визначення висот, як-от ГНСС-нівелювання. Цей метод передбачає свою реалізацію з обов'язковим використанням еліпсоїдальних висот і висот геоїда або квазігеоїда. При цьому еліпсоїдні висоти отримують із даних ГНСС-спостережень, а висоти геоїда й квазігеоїда – із відповідних моделей. Донедавна, для реалізації методу ГНСС-нівелювання використовували переважно моделі висот регіонального та локального масштабу, оскільки вони давали найкращу точність. При цьому, для деяких регіонів планети

створити регіональну/локальну модель висот геоїда чи квазігеоїда із якісними даними не вдалося і до сьогодні. Нині, наявні моделі квазігеоїда, розроблені на територію України, або не загальнодоступні, або мають невисоку точність.

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

Дисертаційна робота Федорчук А. В. 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 підтверджено актуальність теми дисертації, визначено мету, об'єкт, предмет і основні завдання дослідження, розкрито наукову новизну, теоретичну та практичну цінність отриманих результатів, пов'язано роботу з науковими програмами. Також включено список опублікованих робіт та особистий внесок автора в опубліковані праці.

У першому розділі розглядаються останні моделі відлікових поверхонь, які використовуються для обчислення висот за допомогою методу ГНСС-нівелювання. Розглянуто процес побудови первинних систем висот (ортометричних і нормальних) на основі вивчення класичних і сучасних підходів, якими є високоточний геометричний та метод ГНСС-нівелювання. Згідно з авторським аналізом наукових досліджень пов'язаних із ГНСС-нівелюванням та моделями висот геоїда й квазігеоїда на даний момент не існує єдиної методики моделювання відлікових поверхонь з високою точністю. Тому вирішення цієї проблеми може бути знайдено шляхом коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня та порядку.

У другому розділі обговорюються першоджерела помилок під час виконання ГНСС-спостережень, а також пропонуються поради щодо зменшення їх впливу на кінцеві дані, тобто на точність отриманих координат

і висот. Розглянуто підхід опрацювання даних ГНСС-спостережень у стандартному програмному забезпеченні з повним поясненням етапів опрацювання для забезпечення найкращої точності отриманих координат і висот. Досліджено похибки визначення еліпсоїдальних висот із ГНСС-даних, а також їхній вплив на загальну точність результатів методу ГНСС-нівелювання. Згідно з висновками авторки дисертації, вплив помилки еліпсоїдних висот може становити від 2% до 19% залежно від режиму ГНСС-спостережень. Таке дослідження дозволило підтвердити повну впевненість у правильності оцінки еліпсоїдальної висоти на рівні 1-2 см за умови виконання ГНСС-спостережень відносним методом у статичному режимі.

У третьому розділі розглянуто оцінку точності моделей висот геоїда/квазігеоїда глобального масштабу, отриману з даних високоточного геометричного та ГНСС-нівелювання. У цьому розділі також досить детально розглянуто різні типи сучасних моделей геоїда та квазігеоїда, підкреслюючи ключові властивості, які безпосередньо впливають на загальну точність ГНСС-нівелювання. Тут, авторка продемонструвала, що моделі висот геоїда та квазігеоїда регіонального масштабу, як-от EGG2015 та УКГ2012, мають низку певних недоліків, які обмежують їхнє використання для багатьох наукових та практичних цілей. З використанням теоретичних та експериментальних даних досліджено особливості висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня та порядку. Авторка також наголошує, що при використанні висот глобальних моделей першочергово необхідно правильно врахувати ондуляцію геоїда нульового порядку та поправки припливної системи. При цьому, також розглядається проблема того, що правильне врахування таких параметрів не звільняє висоти геоїда/квазігеоїда глобальних моделей від систематичних похибок щодо прийнятої системи висот. В цьому розділі, авторка також проаналізувала висоти глобальних моделей з можливістю їхнього коригування шляхом виявлення та видалення систематичної складової на основі так званого секторного аналізу до рівня

точності у 2 см, з огляду стандартного та середньоквадратичного відхилення. Це дослідження дало змогу автору встановити чинники, що обмежують можливості щодо більш високоточного коригування модельних висот.

У четвертому розділі розроблено методику локального коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей з метою підвищення точності виконання ГНСС-нівелювання. Методика заснована на ідеї моделювання помилок висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня та порядку, як-от EGM2008, XGM2019e_2159, EIGEN-6C4, GECO з використанням різниць гравітаційних аномалій, як вагових коефіцієнтів.

Авторка також надала детальний аналіз ключових змінних для моделювання похибок висот глобальних моделей, як-от масштаб, розмірність та рельєф території, кількість та конфігурація контрольних пунктів із пропозицією щодо загальної ідеї, як перетворити похибки висот у поправки. Враховуючи оптимальні параметри для моделювання похибок висот обраної глобальної моделі високого ступеня та порядку, запропонована методика дозволяє коригувати модельні висоти на рівні 1 см або менше.

У висновках дисертації висвітлюються ключові аспекти, які стосуються питання підвищення точності ГНСС-нівелювання з використанням висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей, що дають змогу розв'язати важливу науково-практичну задачу.

3. Дискусійні положення, зауваження та пропозиції.

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

- 1) в переліку умовних позначень слід було б подавати розшифрування абревіатур спочатку англійською мовою, а в дужках українською, там де першоджерелом є англomовне походження таких скорочень;
- 2) назви “GNSS-нівелювання”, “GNSS-служба”, “GNSS-спостереження”, “GNSS-станція”, “GNSS-системи”, “GNSS-виміри”, “GNSS-приймачі” доцільніше прописувати з українськими скороченнями, тобто: “ГНСС-

- нівелювання”, “ГНСС-служба”, “ГНСС-спостереження”, “ГНСС-станція”, “ГНСС-системи”, “ГНСС-виміри”, “ГНСС-приймачі”;
- 3) на сторінці 85, у реченні “... як функцію аномалій висот з моделі EGM08 для всіх пунктів...” модель EGM написано з цифрами 08, хоча всюди у тексті пише EGM2008, тому варто було б дотримуватися пропису саме EGM2008;
- 4) на рисунку 4.14 та 4.15 в описі легенді зазначено “оцінювальні пункти”, хоча у тексті дисертації написано “оцінювані”, що є правильним відмінюванням;
- 5) у розділі “3.2.3. Гравітаційні аномалії глобальних моделей Землі” варто було приділити також увагу науковим дослідженням зробленим в останні роки, де ця модель використовувалася і яким чином. Це дало б змогу чіткіше виділити переваги та недоліки цієї моделі з огляду практичних результатів;
- б) на 155 ст. у реченні “...висоти моделі PL-quasi-geoid2021 мають стандартне відхилення на рівні 1-2 см, що відповідає точності визначення еліпсоїдної висоти із даних GNSS-спостережень.” – не вказано про який метод (відносний чи абсолютний) та режим (статичний, RTK чи NRTK) ГНСС-спостережень йде мова маючи на увазі точність визначення еліпсоїдних висот на рівні 1-2 см;

Зазначені зауваження жодним чином не стосуються розробленої авторкою методики підвищення точності ГНСС-нівелювання на основі локального коригування висот глобальних моделей геоїда. Отримані результати є цінними та важливими для розв’язання важливої науково-прикладної проблеми точності визначення висот точок фізичної поверхні Землі методом ГНСС-нівелювання.

4. Новизна наукових положень і практичне значення отриманих результатів.

Головним досягненням дисертантки є розроблення нового підходу щодо коригування висот геоїда/квазігеоїда моделей глобального масштабу, де вперше використано різниці гравітаційних аномалій у якості вагових коефіцієнтів для моделювання та врівноваження похибок висот глобальних моделей. Логічним є обґрунтування необхідності коригування висот глобальних моделей у локальному масштабі, що уможливлює підвищення точності методу ГНСС-нівелювання для визначення нормальних та ортометричних висот навіть у гірських районах. В роботі експериментально підтверджено ефективність використання скоригованих висот глобальних моделей високого ступеня та порядку для різних форм рельєфу та знайдено оптимальні параметри моделювання поправок при комплексному поєднанні методів інтерполяції, фільтрації та врівноваження даних за ваговими функціями.

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

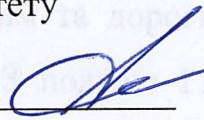
Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 13 наукових працях, з яких одна стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, яке включено до міжнародних наукометричних баз даних Scopus, чотири статті у наукових фахових виданнях України та вісім публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації у вигляді матеріалів та тез міжнародних і вітчизняних науково-технічних та наукових конференцій. Серед 13 наукових праць – одна публікація видана у співавторстві та 12 – одноосібно. Загалом апробацію результатів дисертаційної роботи було представлено на 12 конференціях. Опубліковані праці відповідають п. 11 Постанови Кабінету Міністрів України №167 від 6.03.2019 року «Про присудження ступеня доктора філософії».

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

Дисертація Федорчук Аліни Володимирівни «Методика підвищення точності GNSS-нівелювання на основі локального коригування висот глобальних моделей геоїда» є завершеною науковою працею та відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», 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). Дисертаційна робота має достатньо високий рівень актуальності та наукової новизни, а її авторка Федорчук А. В. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

Офіційний опонент

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри інженерної геодезії
Київського національного університету
будівництва і архітектури



Андрій АННЕНКОВ

Підпис А. О. Анненкова засвідчую
Вчений секретар КНУБА



Микола КЛИМЕНКО