

РЕЦЕНЗІЯ

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».

Актуальність теми дисертації і мета досліджень.

До появи GNSS-систем визначення висот точок фізичної поверхні Землі, висот геоїда, квазігеоїда, параметрів еліпсоїдів базувалися на суто наземних методах: метод геометричного, астрономо-геодезичного, астрономо-гравіметричного та гравіметричного нівелювання.

Традиційно, ортометричні або нормальні висоти отримували методом високоточного геометричного нівелювання шляхом визначення перевищень між пунктами з урахуванням гравіметричних поправок у висоти нівелірних пунктів. Числові значення отриманих у такий спосіб висот задають систему відліку висот, в її традиційному розумінні.

Однак, процес класичного високоточного нівелювання є дуже трудомістким і затратним. З розвитком GNSS-систем з'явився новий метод визначення висот точок фізичної поверхні Землі який називають GNSS-нівелюванням. Цей метод дозволяє уникнути практично всіх недоліків класичних методів, однак, його реалізація передбачає використання двох величин:

- еліпсоїдних висот, отриманих із даних GNSS-вимірювань шляхом перетворення геоцентричних просторових координат (X, Y, Z) у систему еліпсоїдних координат (B, L, H) ;
- висот геоїда чи квазігеоїда, отриманих із відповідної моделі.

Для території України прийнята нормальна система висот, і для

успішного впровадження результатів GNSS-нівелювання в традиційну нівелірну мережу необхідно залучити якусь із високоточних моделей квазігеоїда, які на територію України не є загальнодоступними, або високоточними.

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

Аналіз основного змісту та обґрунтованості наукових досліджень і рекомендацій.

Дисертаційну роботу складають вступ, чотири розділи, висновки, список літератури та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 218 сторінок, у тому числі 150 сторінок основної частини.

Актуальність теми, її мета і основні задачі досліджень, наукова новизна, цінність отриманих результатів сформульовані у вступі. Зазначено також зв'язок роботи із науковими програмами та з основною тематикою кафедри ВГА.

У 1-му розділі **«ОГЛЯД СУЧАСНИХ МОДЕЛЕЙ ВІДЛІКОВИХ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ GNSS-НІВЕЛЮВАННЯ»** розглянуто сучасні моделі відлікових поверхонь, які використовують для визначення висот GNSS-нівелюванням. Даються основні переваги та недоліки у порівнянні із класичними підходами щодо визначення поверхонь відліку висот. Розглянуто методику побудови основних систем висот (ортометричних та нормальних) з огляду класичних та сучасних підходів, якими є метод високоточного геометричного та GNSS-нівелювання. Проаналізовано основні параметри моделювання сучасних відлікових поверхонь. Проведений аналіз наукових досліджень, пов'язаних з тематикою GNSS-нівелювання показує, що сьогодні немає універсального підходу щодо моделювання відлікових поверхонь з високою точністю.

Тому знайти вирішення цієї проблеми можна шляхом уточнення (тобто, коригування) висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня

та порядку.

У 2-му розділі **«ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛІПСОЇДНИХ ВИСОТ ІЗ ДАНИХ GNSS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ»** розглянуто основні джерела похибок при виконанні GNSS-вимірювань та процедуру опрацювання їх у стандартному програмному забезпеченні з детальним описом етапів опрацювання даних для можливості збереження належного рівня точності отриманих координат та висот. Виконано аналіз похибки визначення еліпсоїдних висот із даних GNSS-спостережень та досліджено її вплив на загальну точність результатів GNSS-нівелювання. Отримані результати свідчать, що такий вплив може складати 2 – 19% в залежності від методу спостережень та типу нівелірного знаку. Зазначається, що таке дослідження дало змогу отримати підтвердження щодо забезпечення точності визначення еліпсоїдної висоти на рівні 1-2 см при належному виконанні GNSS-спостережень відносним методом у статичному режимі.

3-ій розділ **«ОЦІНКА ТОЧНОСТІ МОДЕЛЬНИХ ВИСОТ ГЕОЇДА/КВАЗІГЕОЇДА ЗА ДАНИМИ ВИСОКОТОЧНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО ТА GNSS-НІВЕЛЮВАННЯ»** присвячений оцінці точності висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей, отриманої на основі даних високоточного геометричного та GNSS-нівелювання. У цьому розділі також детально розглянуто всі типи сучасних моделей геоїда та квазігеоїда та виділено основні їхні характеристики, що безпосередньо впливають на загальну точність GNSS-нівелювання. Зокрема, розглянуті моделі висот геоїда та квазігеоїда регіонального масштабу, а саме EGG2015 та UKG2012, мають ряд суттєвих недоліків, що обмежує їхнє використання для багатьох науково-практичних застосувань. На основі теоретичних та експериментальних даних проаналізовано особливості висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей та виокремлено основні параметри їхньої точності. Зокрема, першочерговими чинниками впливу на точність є ондуляція геоїда нульового порядку та вибір системи припливів модельних висот. Дисертантка підкреслює, що навіть після врахування цих чинників,

висоти геоїда/квазігеоїда глобальних моделей будуть містити систематичні похибки щодо прийнятої національної системи висот. Проаналізовано висоти глобальних моделей з можливістю їхнього коригування шляхом виявлення та вилучення систематичної складової на основі так званого секторного аналізу до рівня 2 см стандартного та середньоквадратичного відхилення. Таке дослідження дало змогу встановити чинники, що обмежують можливості щодо більш високоточного коригування модельних висот, які враховано при розробленні складнішої методики їх коригування.

У 4-му розділі «РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ЛОКАЛЬНОГО КОРИГУВАННЯ ВИСОТ ГЛОБАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ»

розроблено методику локального коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей, яка базується на принципі моделювання похибок висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей високого ступеня та порядку, таких як EGM2008, EIGEN-6C4, GECO та XGM2019e_2159, на основі використання вагових коефіцієнтів різниць гравітаційних аномалій. Розроблену методику реалізовано на основі експериментальних даних, отриманих для різних географічних територій локального масштабу. Детально проаналізовано основні параметри моделювання похибок висот глобальних моделей (масштаб, розмірність та рельєф території, кількість та конфігурація контрольних пунктів тощо), а також принцип їхнього перетворення на поправки. Запропонована методика дозволяє коригувати модельні висоти геоїда/квазігеоїда на рівні 1 см, і менше, з урахуванням оптимальних параметрів моделювання похибок висот обраної глобальної моделі високого ступеня та порядку. Наведено рекомендації щодо практичного впровадження розробленої методики на регіональному рівні на прикладі всієї території України та її традиційної нівелірної мережі. Проведений комплекс експериментальних досліджень забезпечує загальну точність методу GNSS-нівелювання на рівні 1-2 см для отримання еліпсоїдних висот за даними GNSS-спостережень, а також на рівні 1 см для скоригованих висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей

Обґрунтованість наукових положень та практичне значення дисертаційної роботи.

Високий рівень обґрунтованості наукових положень, висновків та їхня вірогідність забезпечені використанням обширного переліку літературних джерел за темою дисертаційної роботи. Вірогідність наукових і практичних результатів підтверджується використанням різних методів математичного опрацювання практичних та експериментальних даних щодо похибок висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей, деяких нестандартних методів секторного, просторового, кількісного аналізу та методиці локального моделювання похибок висот, що базується на комплексному поєднанні методу інтерполяції, фільтрації та врівноваженні даних за принципом вагових функцій.

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані поправки на основі розробленої методики локального коригування висот геоїда/квазігеоїда глобальних моделей уможливають застосування методу GNSS-нівелювання для визначення нормальних висот у прийнятій традиційній системі з точністю III–IV класу геометричного нівелювання. Отримані дисертанткою результати дають можливість підвищити точність виконання GNSS-нівелювання та розширити спектр геодезичних застосувань пов'язаних із визначенням висот точок фізичної поверхні Землі в цілях побудови та оновлення нівелірних мереж III–IV класів, при створенні висотної основи для різноманітних топографічних карт, для проведення моніторингу за небезпечними техногенними та природними явищами, для можливості реалізації 3-D кадастрових знімачів на території України, для забезпечення висотної основи у будівельній, транспортній, нафтогазовій, гірничодобувній, водогосподарській сферах та в цілях здійснення геоприв'язки GNSS-станцій до традиційної чи нової системи висот.

Зауваження та рекомендації щодо дисертаційної роботи

На основі аналізу дисертаційної роботи Аліни Федорчук слід зазначити деякі окремі зауваження і побажання:

1. Надто детально описуються загальні відомості, особливо, про методи GNSS-вимірювань таких, як: абсолютний метод, відносний метод тощо.
2. Підрозділ 2.2. «Основні методи GNSS-спостережень» напевно краще було б назвати «Методи визначення координат (місцеположення) за GNSS-спостереженнями», оскільки методи спостережень поділяють на статичний і кінематичний, які застосовуються в обох методах визначення координат пунктів: 1) абсолютному і 2) відносному.
На стор. 75 цього ж підрозділу замість слів «двох частотні GNSS-приймачі» написати: двочастотні.
3. Для дослідження точності визначення еліпсоїдних висот із GNSS-спостережень використано з каталогів нівелювання 17 нівелірних пунктів I – II класу, розташованих у межах Львова та його околиць. Проте немає жодної інформації, коли проводилося нівелювання на цих пунктах і в якому стані вони знаходяться.
4. У висновках до розділу 1 доцільно пп. 1-3 об'єднати в один.
Наведено основні відомості щодо методів визначення відлікових поверхонь, що уможливило порівняння їхніх переваг та недоліків, зокрема:
 - сучасне визначення геоїда та квазігеоїда, як відлікової поверхні ...
 - визначення висот методом GNSS-нівелювання вимагає...
5. ...12 пунктів, що охоплюють територію приблизно 62 км (кв. км, оскільки мова йде про площу)
6. центрами обробки, оброблення даних (опрацювання)
7. фізична поверхня Землі не є суворою (має бути - строгою) поверхнею рівноваги,
8. Збурюючий потенціал (Збурювальний)
9. З відси впливає (звідси)
10. В наслідок цього (приймен)
11. незалежно від типу приливної системи (декілька повторень).

Зазначені зауваження не знижують, у загальному, рівень дисертаційної роботи та не впливають на достовірність отриманих результатів і висновків.

Висновок

Дисертаційна робота Федорчук Аліни Володимирівни на тему «Методика підвищення точності GNSS-нівелювання на основі локального коригування висот глобальних моделей геоїда» є завершеною науковою працею, яка містить нові теоретичні положення і результати експериментальних досліджень направлені на розв'язання важливої науково-практичної задачі щодо підвищення точності методу GNSS-нівелювання. Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та має достатньо високий рівень актуальності, логічності у структурі та обґрунтованості викладу наукових положень, а здобувач Федорчук А. В. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» (галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»).

Рецензент

Доктор технічних наук, професор, професор
кафедри вищої геодезії та астрономії
Національного університету
«Львівська політехніка»



Федір ЗАБЛОЦЬКИЙ

Підпис д.т.н, проф. Заблоцького Ф. Д. засвідчую

Вчений секретар
к.т.н, доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ