

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, доцента

Анненкова Андрія Олександровича на дисертаційну роботу

Джумана Богдана Богдановича

«МОДЕЛЮВАННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ПОЛІВ ЗЕМЛІ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗАДАЧ»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.24.01 *Геодезія, фотограмметрія та картографія*

05 Технічні науки

Актуальність теми. Моделі геофізичних полів Землі відіграють важливу роль при вирішенні прикладних задач, які виникають в геодезії. В першу чергу це стосується моделей гравітаційного та магнітного поля Землі, які мають близький фізичний зміст, а також моделі параметру іоносфери *VTEC*. При моделюванні вище наведених геофізичних полів використовуються різні методи та методики, які класифікуються за різними ознаками. Стрімкий розвиток геодезичних технологій вимагає перманентний перегляд та покращення методів моделювання геофізичних полів Землі. У зв'язку з цим тематика наукових досліджень є актуальною.

Наукова новизна одержаних результатів

Після ознайомлення зі змістом дисертації, рефератом та публікаціями можна зробити висновок, що мету дослідження виконано в повному обсязі. Це відображено в основних положеннях роботи, сформульованих автором особисто, зокрема:

- 1) Уперше отримано та теоретично обґрунтовано систему функцій, ортогональних на довільній сферичній трапеції, побудованих на основі сферичних функцій Лежандра з дійсними індексами (STNA-функцій).
- 2) Знайдено аналітичні вирази для обчислення нулів та повної норми STNA-функцій, отримано аналітичні вирази для першої та другої похідних даних функцій.

- 3) Уперше запропоновано алгоритм адаптації квадратурних формул Гауса для розрідження матриці нормальних рівнянь при використанні СТНА-функцій.
- 4) Порівняно та показано перевагу використання СТНА-методу моделювання регіонального поля із вже існуючими методами;
- 5) Виявлено можливість використання СТНА-поліномів для представлення локальної аналітичної коваріаційної функції.
- 6) Побудовано моделі регіонального гравітаційного поля Землі з використанням (SHA+СТНА)-функцій на центрально-південний регіон України для потреб мережі активних перманентних GNSS-станцій «GeoTerrace» та виконано оцінку точності даних моделей.
- 7) Розроблено та апробовано методику застосування СТНА-функцій для моделювання регіонального магнітного поля Землі.
- 8) Розроблено та апробовано методику застосування СТНА-функцій для обчислення апроксимаційної просторово-часової моделі параметру іоносфери *VTEC*.

Практичне значення результатів роботи. Запропонований в дисертаційній роботі метод рекомендується використовувати при побудові високоточних моделей регіонального гравітаційного поля Землі, а також при обчисленні регіональних моделей магнітного поля Землі та параметру іоносфери *VTEC*. Моделі гравітаційного поля Землі необхідні для обчислення нормальних та ортометричних висот із використанням ГНСС-методів. Моделі магнітного поля Землі з точки зору геодезії в першу чергу потрібні для визначення кута магнітного схилення. Своєю чергою високоточні просторово-часові регіональні моделі параметру іоносфери *VTEC* можна використати для отримання похибки за вплив іоносфери у виміри одночастотного ГНСС-приймача.

Результати дисертаційної роботи отримали впровадження в рамках виконання державного замовлення «Розбудова мережі активних перманентних станцій глобальної навігаційної супутникової системи в південно-західному

транскордонному секторі України для розширення послуг точного позиціонування».

Крім того результати дослідження впроваджено у навчальний процес для студентів II (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» у курс «Референцні системи в геодезії» та за спеціальністю 103 «Науки про Землю» у курс «Космічний моніторинг Землі». Також дані результати використовувались в процесі підготовки магістерських кваліфікаційних робіт студентів за ОПП «Космічна геодезія» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

Повнота викладення матеріалів дисертації у публікаціях. Основні положення дисертації опубліковано у 30 друкованих працях, із них: 7 статей у наукових періодичних виданнях, які внесені до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 10 статей у наукових фахових виданнях України, які внесені до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus; 3 статті у наукових фахових виданнях України; 4 публікації у збірниках матеріалів конференцій, що входять до наукометричної бази даних Scopus; 5 публікацій у збірниках матеріалів конференцій; 1 стаття у інших виданнях.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри вищої геодезії та астрономії «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань». Робота пов'язана з планами, темами і науковою тематикою робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Геодезичного моніторингу та рефрактометрії» (ГНДЛ-18) Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка».

Зміст дисертаційної роботи. Дисертаційна робота Джумана Б.Б. складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаної літератури.

У **вступі** наведено актуальність теми дисертаційної роботи; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету та

завдання дослідження; наведено методи дослідження; висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; викладено відомості про повноту публікацій та апробацію роботи.

У першому розділі *«Сучасний стан щодо моделювання полів Землі»* проведено аналіз точності моделей глобального гравітаційного поля, а також різних реалізацій Європейського геоїда EGG в межах території України та Українського квазігеоїда УКГ, побудованого відносно Балтійської системи висот. Здійснено аналіз різних методів побудови регіонального магнітного поля Землі та аналіз методів обчислення апроксимаційної моделі параметра *VTEC*. Виконано порівняння європейської вертикальної референцної системи EVRF2019 на території України, під час реалізації якої використовувалися розкидані в часі дані нівелювання, із даними нівелювання I класу між висотними пунктами ДГМ України та Польщі, нівелірні мережі якої входять в систему висот UELN/EVRS2000.

У другому розділі *«Сферичні функції з дійсними індексами»* запропоновано на основі сферичних функцій з дійсними індексами систему функцій на сферичній трапеції, отримано розрахункові формули даних функцій через гіпергеометричний ряд, аналітичні формули для знаходження їх повної норми. Знайдено формулу для обчислення розрізнявальної здатності *STNA*-моделі, яка залежить як від максимального порядку моделі, так і від розміру досліджуваного регіону. Обґрунтовано переваги запропонованого методу порівняно з іншими методами.

У третьому розділі *«Побудова моделі геоїда з використанням STNA-функцій»* запропоновано формули для розкладу трансформант геопотенціалу в ряд за *STNA*-функціями, отримано робочі (адаптовані до програмування) формули для обчислення моделі регіонального гравітаційного поля Землі. На основі запропонованої методики обчислено модель гравіметричного геоїда на територію Львівської області до 8 степеня/порядку в рамках процедури «Вилучення-Обчислення-Відновлення» з використанням гравітаційних аномалій. Запропоновано приймати *STNA*-поліноми як базову систему функцій для представлення локальної аналітичної коваріаційної функції. Обчислено

високоточну модель геоїда на території Вінницької та Одеської областей відносно еліпсоїда GRS80 та еліпсоїда Красовського.

У четвертому розділі «*Використання STHA-функцій для моделювання магнітного поля Землі та параметру іоносфери VTEC*» виконано порівняння SCHА та STHA методів при обчисленні регіональної моделі магнітного поля Землі на територію Центральної Європи. Обґрунтовано переваги STHA-методу для обчислення моделі параметра іоносфери VTEC в регіональному масштабі. Побудовано просторову апроксимаційну модель параметру іоносфери VTEC, отриманого на 47 GNSS-станціях Західного регіону України. Обчислено просторово-часову апроксимаційну модель параметру іоносфери VTEC в регіональному масштабі на основі вимірів на 19 GNSS-станціях Західного регіону України.

Зауваження та побажання:

- 1) В п. 1.1.5.2 “Про приєднання висотної мережі України до Об’єднаної європейської нівелірної мережі UELN” доцільно було б привести числові значення аномалій сили тяжіння в редукації Буге, які використовувалися для введення поправок у високоточне нівелювання.
- 2) У п. 1.1.5.3 “Порівняння моделей геоїда на прикордонну територію” виконано порівняння висот геоїда, отриманих із GNSS-нівелювання, з трьома глобальними моделями гравітаційного поля Землі. Проте не вказано, чому вибрано саме ці три моделі.
- 3) В роботі автор вказує на висоти геоїда, при цьому на рис. 1.1. Опорні поверхні та поясненні до нього вказується поверхня квазігеоїда, яка визначається математично. Тому, варто чітко дотримуватись прийнятої термінології.

Наведені зауваження мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень дисертаційної роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Джумана Богдана Богдановича «Моделювання регіональних геофізичних полів Землі для розв’язку геодезичних задач» відповідає вимогам МОН України, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, п. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 *Геодезія, фотограмметрія та картографія*.

Офіційний опонент

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


Андрій АННЕНКОВ

Підпис д.т.н., доц. Анненкова А.О. засвідчую
Вчений секретар, КНУБА


Микола КЛИМЕНКО

