

ВІДГУК

офіційного опонента **Орлюка Михайла Івановича** на дисертаційну роботу

Джумана Богдана Богдановича

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

що подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.24.01 - Геодезія, фотограмметрія та картографія

05 – Технічні науки

Актуальність дисертаційної роботи. На сучасному етапі розвитку наук про Землю особливою проблемою є представлення геофізичних полів та розробка регіональних і локальних геофізичних моделей окремих територій та структур, які узгоджені з відповідними глобальними моделями для планети в цілому. З іншого боку на теперішній час вирішення геодезичних задач потребує використання комплексу геофізичних методів, кожний з яких має свої особливості та методи інтерпретації і розробки моделей. Аналіз широкого спектру різних методів і підходів до моделювання геофізичних полів засвідчив, що немає єдиного універсального підходу для розв'язку цієї задачі. За цього розвиток нових технологій та підвищення точності вимірювальних приладів створили передумови удосконалення методів побудови моделей регіональних геофізичних полів Землі для вирішення задач геодезії.

Враховуючи науковий та прикладний аспект цієї проблематики, можна стверджувати, що виконане дослідження зв'язку між глобальними сферичними функціями і сферичними функціями з дійсними індексами (STNA-функції) є надзвичайно актуальною проблемою щодо розв'язування сучасних наукових і прикладних задач геодезії, геофізики, тощо.

Наукове значення отриманих результатів, їх новизна. В роботі запропоновано метод обчислення моделей регіональних геофізичних полів

Землі та виконано його апробацію в межах побудови моделей регіонального геомагнітного поля і його вікових змін та моделі параметру іоносфери *VTEC*. Обґрунтовано переваги запропонованого методу порівняно з існуючими методами. В основі даного методу лежить отримана система функцій, ортогональних на довільній сферичній трапеції, побудована на основі сферичних функцій Лежандра з дійсними індексами (СТНА-функцій).

В роботі знайдено аналітичні вирази СТНА-функцій та їх першої та другої похідних за допомогою розкладу в гіпергеометричний ряд. Обчислено кількість нулів даних функцій на довільній сферичній трапеції, а також отримано аналітичний вираз повної норми СТНА-функцій. Адаптовано квадратурні формули Гауса для розрідження матриці нормальних рівнянь при використанні СТНА-функцій. Показано та апробовано можливість використання СТНА-поліномів для представлення локальної аналітичної коваріаційної функції.

Підсумовуючи вище сказане, запропонований в дисертації метод можна рекомендувати для побудови моделей регіональних геофізичних полів Землі, які використовуються в геодезії.

Практичне значення результатів роботи. Запропоновані методи рекомендується використовувати для побудови високоточної регіональної моделі геоїда, що необхідна для потреб перманентних ГНСС-станцій. Своєю чергою розвиток мереж ГНСС-станцій необхідний для економічного розвитку територій, обслуговування інвестицій, розвитку землеробства, забезпечення будівництва транспортних магістралей та складних інженерних споруд, тощо.

Також дані методи дозволяють обчислювати високоточні регіональні моделі магнітного поля Землі, які потрібні для вирішення питань навігації та орієнтації; дослідження природи магнітних аномалій і їх динаміки, комплексування з результатами інших методів і т.ін, Запропоновані методи рекомендується використовувати при побудові апроксимаційної просторово-

часової моделі параметру іоносфери *VTEC*, що уможливить мінімізацію величини похибки координат пункту при використанні одночастотного GNSS-приймача.

Теоретичні та експериментальні результати дослідження впроваджено в рамках державного замовлення «Розбудова мережі активних перманентних станцій глобальної навігаційної супутникової системи в південно-західному транскордонному секторі України для розширення послуг точного позиціонування» (№ ДЗ / 102 – 2021 від 04 березня 2021 р.), виконаного згідно розпорядження Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку найважливіших науково-технічних (експериментальних) розробок за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки в рамках виконання державного замовлення на найважливіші науково-технічні (експериментальні) розробки та науково-технічну продукцію у 2021-2022 роках» від 18 серпня 2021 р. № 950-р.

Також 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».

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.

Відповідність паспорту спеціальності. Дисертаційна робота Джумана Б.Б. є завершеною науковою працею, відповідає паспорту спеціальності

05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія» та присвячена вирішенню важливої науково-прикладної проблеми удосконалення методів побудови регіональних моделей геофізичних полів Землі, які використовуються в геодезії.

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

У **вступі** наведено актуальність теми дисертаційної роботи, мету та завдання дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; подано відомості про повноту публікацій та апробацію роботи.

У **першому розділі «Сучасний стан щодо моделювання полів Землі»** здійснено критичний аналіз методів обчислення глобальних та регіональних моделей гравітаційного поля Землі. Виконано аналіз регіональних моделей геоїда, побудованих на територію України, а саме різних реалізацій європейського геоїда та українського квазігеоїда, здійснено порівняння точності даних моделей. Для об'єднання нівелірних мереж України та Польщі виконано геометричне нівелювання I класу за двома лініями: Львів – Шегині – Перемишль та Ковель – Ягодин – Хелм. Отриманий результат порівняно із різницями висот між Балтійською та Європейською системами висот на території України, отриманими під час обчислення останньої реалізації EVRF2019. Досліджено точність глобальних моделей геоїда на прикордонну територію.

Виконано аналіз сучасного стану щодо моделювання регіональних моделей магнітного поля Землі та параметру іоносфери *VTEC*.

У **другому розділі «Сферичні функції з дійсними індексами»** розроблено і запропоновано використовувати сферичні функції з дійсними індексами (STNA-функції) для моделювання регіональних геофізичних полів

Землі. Доведено, що дані функції володіють властивістю ортогональності на довільній сферичній трапеції. Запропоновано зручні для програмування формули СТНА-функцій, отримано аналітичні вирази для обчислення норми та кількості нулів даних функцій. Отримано формулу для обчислення роздільної здатності СТНА-моделі і за допомогою даної формули показано перевагу запропонованого методу.

Третій розділ «Побудова моделі геоїда з використанням СТНА-функцій» присвячений дослідженню можливості використання запропонованого методу для моделювання регіонального гравітаційного поля Землі. Знайдено робочі формули для використання СТНА-методу та обчислено високоточну регіональну модель геоїда на територію Вінницької та Одеської областей для забезпечення потреб мережі «GeoTerrace» з використанням різномірної вхідної інформації, а саме гравітаційних аномалій, даних ГНСС-нівелювання та глобальних моделей гравітаційного поля Землі.

Також виконано дослідження щодо можливості використання СТНА-поліномів як базової системи функцій для отримання локальної аналітичної коваріаційної функції. Обчислено та порівняно низку коваріаційних та кросковаріаційних функцій з використанням поліномів Лежандра та СТНА-поліномів і встановлено, що кількість коефіцієнтів розкладу в ряд за СТНА-поліномами є значно меншою без втрати точності.

У четвертому розділі **«Використання СТНА-функцій для моделювання магнітного поля Землі та параметру іоносфери VTEC»** проведено дослідження можливості використання запропонованого методу для моделювання регіонального магнітного поля Землі та параметру іоносфери VTEC. Здійснено порівняння СТНА-методу та часто використовуваного SCHN-методу для обчислення регіональної моделі магнітного поля Землі на територію Центральної Європи за результатами обсерваторських спостережень. Встановлено, що СТНА-метод має кращу

роздільну здатність і тому при його використанні можна оперувати меншою кількістю коефіцієнтів моделі, а також не потрібно виконувати операції перетворення та трансформування вхідних даних. Також із використанням запропонованого методу побудовано апроксимаційну просторово-часову модель параметру іоносфери *VTEC* в регіональному масштабі, та порівняно отримані результати із моделлю GIM із IGS.

Недоліки та зауваження до змісту дисертації:

- 1) Вагома частина п. 1.2 містить загальновідому інформацію, яку на нашу думку можна опустити.
- 2) В п. 3.3 «Застосування STHA-поліномів для побудови локальної АКФ» здійснено порівняння аналітичних коваріаційних та кросковаріаційних функцій, отриманих розкладом в ряд за поліномами Лежандра і STHA-поліномами. Проте на мою думку доцільно отримати аналітичні співвідношення між коефіцієнтами розкладу АКФ за STHA-поліномами та коефіцієнтами STHA-моделі регіонального гравітаційного поля.
- 3) Апробацію використання STHA-функцій для моделювання магнітного поля Землі було виконано на прикладі спостережень в 9 магнітних обсерваторіях, що не є достатньо репрезентативним для регіональної характеристики аномалій модуля індукції геомагнітного поля та його складових.
- 4) В авторефераті та дисертації вживається фраза "...побудови моделей використовуваних в геодезії регіональних геофізичних полів Землі". Мабуть правильно було б писати "побудови моделей регіональних геофізичних полів Землі, які використовуються в геодезії (або для потреб геодезії)".
- 5) В роботі використовуються аббревіатури різних термінів та висловів, тому бажано було б супроводити дисертаційну роботу сторінкою із переліком їх скорочень.

Вказані вище зауваження носять технічний і стилістичний характер та не зменшують наукову і практичну цінність результатів дисертаційної роботи.

Висновок про відповідність дисертації вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук

Згідно з актуальністю, новизною, важливістю одержаних автором розробок, їх обґрунтованістю і достовірністю дисертація Джумана Богдана Богдановича «Моделювання регіональних геофізичних полів Землі для розв'язку геодезичних задач». є завершеною працею, в якій отримані нові, науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, а головні положення знайшли відображення в фахових виданнях, публікаціях та достатньо апробовані на нарадах та конференціях різних рівнів. Науковий рівень поданої дисертаційної роботи відповідає вимогам до докторських дисертацій, а її автор, Джуман Б.Б. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 *Геодезія, фотограмметрія та картографія, 05 технічні науки.*

Офіційний опонент:

Завідувач відділу геомагнетизму

доктор геологічних наук, професор  Михайло ОРЛЮК

Підпис М.І.Орлюка

ЗАСВІДЧУЮ:

Вчений секретар

Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна

НАН України, к.геол.н.



Володимир ІЛЬЄНКО