

## **ВІДГУК**

### **офіційного опонента**

доктора технічних наук, професора

**Каблак Наталії Іванівни**

на дисертаційну роботу

**Джумана Богдана Богдановича**

на тему:

### **«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*

**Актуальність теми.** Вагомою складовою частиною розв'язування сучасних наукових і прикладних задач геодезії та загалом наук про Землю є моделювання різних полів Землі та інтерпретація отриманих результатів. Розвиток нових геодезичних та геофізичних технологій, підвищення точності вимірювальних приладів, технологічні виклики сучасності вимагають удосконалення методів побудови моделей регіональних полів Землі, що використовуються в геодезії.

Тому удосконалення методів побудови моделей використовуваних в геодезії регіональних полів Землі є без сумніву актуальною темою.

**Наукове значення отриманих результатів, їх новизна.** Запропонований метод побудови використовуваних в геодезії регіональних полів Землі має ряд переваг порівняно з існуючими методами. Наприклад, при використанні методу СКК необхідно розв'язувати систему рівнянь, яка по розміру рівна кількості вимірів, під час обчислень можуть виникати проблеми через точки з однаковими або близькими по значенню координатами, через що коваріаційна матриця може бути близькою до сингулярної, також необхідно емпірично підбирати локальну коваріаційну функцію. У випадку STPA-функцій можна використати квадратурні формули і, подібно до другого методу Неймана, оперувати діагональною матрицею нормальних рівнянь, що є на порядок сфсктивніше.

Для використання методу SCHА необхідно виконати над вхідними даними операції трансформування та перетворення, через що втрачається фізична суть процесу. В той же час областю визначення STPA-функцій є довільна сферична трапеція і жодних подібних операцій над вхідними даними виконувати не потрібно.

Підсумовуючи можна зазначити, що запропонований в дисертаційній роботі метод являє собою потужний гнучкий апарат для побудови моделей використовуваних в геодезії регіональних полів Землі високої точності.

**Практичне значення результатів роботи.** Оскільки на сьогоднішній день в Україні активно ведуться роботи із розширення мереж активних референцних станцій, запропоновані методи рекомендується використовувати

для побудови високоточної регіональної моделі геоїда, що необхідна для отримання висот топографічної поверхні супутниковими методами.

Також дані методи рекомендується використовувати при побудові апроксимаційної моделі параметру іоносфери для мінімізації величини похибки визначення координат пункту за вплив іоносфери на виміри одночастотного GNSS-приймача. Крім того, одержані результати дозволяють обчислювати високоточні регіональні моделі магнітного поля Землі.

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» (№ ДЗ / 102 – 2021 від 04 березня 2021 р.).

**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 та назві роботи.** 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 використовуваних в геодезії геофізичних полів Землі.

Назва дисертаційної роботи відповідає змісту досліджень.

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

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

У першому розділі «Сучасний стан щодо моделювання полів Землі» виконано критичний аналіз методів побудови глобальних та регіональних моделей гравітаційного поля Землі, а також аналіз моделей геоїда на територію України. Виконано об'єднання нівелірних мереж України та Польщі шляхом проведення нівелювання I класу, та порівняно отримані результати з останньою реалізацією європейської вертикальної референцної системи EVRF2019. Здійснено аналіз методів побудови регіональних моделей магнітного поля Землі, а також методів побудови параметру іоносфери *VTEC*.

Другий розділ «Сферичні функції з дійсними індексами» присвячений дослідженню сферичних функцій, ортогональних на довільній сферичній трапеції (STHA-функцій). Запропоновано розрахункові формули STHA-функцій через їх розклад в гіпергеометричний ряд, отримано аналітичні формули для знаходження повної норми та кількості нулів STHA-функцій в залежності від їх порядку та ступеня. Здійснено адаптацію квадратурних формул Гауса до STHA-функцій. Отримано формулу для обчислення розрізняювальної здатності STHA-моделі.

У третьому розділі «Побудова моделі геоїда з використанням STHA-функцій» запропоновано приймати STHA-поліноми як базову систему функцій для представлення локальної аналітичної коваріаційної функції. Для апробації даного підходу побудовано та порівняно ряд коваріаційних та кросковаріаційних функцій з використанням поліномів Лежандра та STHA-поліномів.

Для забезпечення повноцінного функціонування мережі «GeoTerrace» побудовано високоточну STHA-модель гравіметричного геоїда на території Вінницької та Одеської областей. Рекомендовано використовувати отриману модель геоїда на територію Вішницької та Одеської областей для забезпечення функціонування мережі «GeoTerrace» в даному регіоні.

У четвертому розділі «Використання STHA-функцій для моделювання магнітного поля Землі та параметру іоносфери VTEC» отримано формули для використання запропонованого методу при побудові моделей магнітного поля Землі та параметру іоносфери VTEC. Виконано порівняння SCHА та STHA методів при обчисленні регіональної моделі магнітного поля Землі на територію Центральної Європи. Визначено величину кута магнітного схилення за отриманою моделлю. На основі запропонованого методу обчислено просторово-часову апроксимаційну модель параметру іоносфери VTEC на 1 добу в регіональному масштабі з використанням STHA-функцій, отриманого на 19 GNSS-станціях Західного регіону України.

#### **В роботі можна виділити наступні недоліки:**

- 1) В першому розділі виконано аналіз точності різних реалізацій українського квазігеоїда УКГ. Проте на даний час останньою і найточнішою реалізацією вважається УКГ 2017, яка не згадується в роботі.
- 2) У п. 1.1.5.3 варто було б детальніше розписати характеристики моделей глобального гравітаційного поля Землі, висоти геоїда із яких використовувалися для порівняння із висотами, отриманими із ГНСС-нівелювання;
- 3) В п. 4.2 було б краще детальніше розписати процес отримання просторового розподілу вертикального і похилого *TEC* за спостереженнями із мережі GNSS-станцій України.
- 4) В роботі здійснено аналіз методів побудови моделей магнітного поля Землі, а також методів побудови параметру іоносфери VTEC, але не має опису, щодо використання даних супутникових гравітаційних місій, наприклад таких, як GRACE (Gravity Recovery Experiment) і GRACE-FO

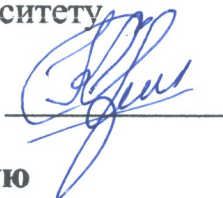
(GRACE-Follow On), які революціонізували наші знання про глобальне поле тяжіння.

- 5) У роботі зустрічаються терміни “гравіметричний геоїд”, “геометричний геоїд”, “гравіметрично-геометричний геоїд”, проте відсутнє роз’яснення, в чому полягає різниця між ними.

**Загальні висновки.** Відмічені зауваження не впливають на основні результати і висновки дисертаційного дослідження. Ці результати є значним і своєчасним досягненням сучасної геодезичної науки. Дисертаційна робота Джумана Б.Б. 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 Джуман Богдан Богданович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 *Геодезія, фотограмметрія та картографія*.

### 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