

**ВІДГУК**

**офіційного опонента на дисертаційну роботу Джумана Богдана  
Богдановича “Апроксимація регіонального гравітаційного поля  
неортогональними функціями”, представленої на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія**

Дисертаційна робота Б.Б. Джумана складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел із 110 найменувань загальним обсягом 115 сторінок, у тому числі 34 рисунки і 3 таблиці.

**Актуальність теми досліджень** обґрунтована в дисертаційній роботі у повній мірі. Побудова моделей гравітаційного поля і поля висот квазігеоїда відносяться до числа ключових задач фізичної геодезії у розрізі дослідження фігури Землі. Такого роду дослідження складають предмет діяльності комісії Міжнародної асоціації геодезії (IAG) №2 “Гравітаційне поле”. Накопичені величезні бази даних гравіметричних, альтиметричних та супутникових спостережень розкрили нові перспективи досліджень у напрямку уточнення існуючих і побудови нових моделей фізичних полів і фігури Землі. Разом з тим, використання великих за обсягом даних породило проблеми, пов’язані з адекватно великими затратами часу і машинних ресурсів при їх опрацюванні, що зумовило переосмислення використовуваних традиційно теоретичних основ і необхідність вироблення адаптивних методик і оптимізаційних алгоритмів опрацювання і аналізу даних. Такого роду проблеми проявились і при побудові моделей регіонального рівня. Крім того, класичні методи побудови глобальних моделей, засновані на використанні апарату сферичних та еліпсоїдальних функцій, виявились непридатними для моделювання в локальному чи регіональному масштабах з причин неортогональності розкладу функцій потенціалу в ряди і поганої обумовленості матриці нормальних рівнянь.

В зв’язку з цим метою дисертаційних досліджень визначено оптимізацію алгоритму побудови регіонального гравітаційного поля з використанням

сферичних функцій Лежандра цілого степеня і дійсного порядку, відому як скорегований сферичний гармонічний аналіз ASHA (Adjusted Spherical Harmonic Analysis)

В дисертаційній роботі детально проаналізовано суть проблеми теорії потенціалу, моделювання гравітаційного поля і методи апроксимації геопотенціалу, а також результати вітчизняних та зарубіжних досліджень проблеми, чим автор посвідчив свої знання **робіт попередників**.

**Методичний рівень досліджень.** Опираючись на властивості функції Лежандра цілого степеня і дійсного порядку, розроблено методу моделювання регіонального гравітаційного поля, яка зводиться до модифікації методу ASHA і забезпечує скорочення часу обчислення невідомих коефіцієнтів моделі. Виведено формули для обчислення та обернення розрідженої матриці нормальних рівнянь. Розроблений оптимізаційний алгоритм дав змогу побудувати модель регіонального гравітаційного поля на територію Арктики за даними гравітаційних аномалій у вільному повітрі в рамках Арктичного гравітаційного проекту AGP (Arctic Gravity Project) до 150 степеня/порядку.

#### **Відповідність паспорту спеціальності та назві роботи.**

Назва дисертації відповідає змісту виконаних досліджень. Дисертаційна робота Б.Б. Джумана відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія.

#### **Аналіз основного змісту, наукової новизни, достовірності досліджень та обґрунтованості висновків і рекомендацій.**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Також перелічено використані засоби публічної апробації і оцінено особистий внесок здобувача при поданні результатів досліджень у фахових виданнях.

Перший розділ “**Основні характеристики гравітаційного поля Землі**” складається з трьох підрозділів, в яких висвітлено суть проблеми теорії потенціалу сили тяжіння, сили притягання та відцентрової сили і моделей Землі

у формах геоїда та квазігеоїда. Подано основні відомості про аномалії висоти, розглянуто чисті і змішані гравітаційні аномалії у вільному повітрі. Також описано процес редукції гравітаційних аномалій у вільному повітрі.

Другий розділ **“Методи апроксимації геопотенціалу”** складають шість підрозділів, які присвячені описуванню існуючих методів побудови моделей глобальних та регіональних гравітаційних полів, аналізу наукової літератури за темою дисертаційних досліджень, а також висвітленню сучасного стану дослідження проблеми. Акцентовано увагу на особливостях операційного та модельного підходів фізичної геодезії до представлення гравітаційного поля Землі різними методами, подано їх переваги та недоліки. Особливо виділено сферичні функції Лежандра першого роду, які представляють частину сімейства ортогональних розв’язків рівняння Лапласа в сферичній системі координат. В аналізі методів побудови моделей гравітаційного поля багато уваги приділено розгляду алгоритмів обчислення коефіцієнтів матриці нормальних рівнянь та визначення невідомих коефіцієнтів моделі.

У третьому розділі **“Гармонічний аналіз на сегменті сфери гравітаційних аномалій у вільному повітрі”** (сім підрозділів) детально розглянуто використання функцій Лежандра цілого степеня і дійсного порядку для моделювання регіонального гравітаційного поля. Аргументовано неефективність використання звичайних (глобальних) сферичних гармонік функцій Лежандра у регіональному чи локальному масштабі. На сегменті сфери вони втрачають свою ортогональність, що зумовлює погану обумовленість матриці нормальних рівнянь і відповідно нестабільний розв’язок при визначенні невідомих коефіцієнтів моделі. Натомість обґрунтовано доцільність використання сферичних функцій Лежандра цілого степеня і дійсного порядку. За основу взято їх властивості, які за певних умов забезпечують ортогональність функцій у тому числі й на сегменті сфери. Такі умови полягають у редукції сегменту сфери на півсферу. Один з алгоритмів подібного перетворення і досягнення кінцевого розв’язку одержав назву ASHA. З точки зору практичного використання алгоритм має суттєвий недолік – громіздкість,

що проявляється при формуванні матриці нормальних рівнянь і визначенні невідомих коефіцієнтів моделі. В зв'язку з цим пропонується модифікація методу ASHA. Автором виведено формули для обчислення і обертання розрідженої матриці нормальних рівнянь. Оптимізаційний алгоритм дозволяє скоротити час обчислення невідомих коефіцієнтів моделі. Ефект оптимізації обґрунтовано теоретично і проілюстровано наочно порівняльним графіком.

Четвертий розділ “**Побудова регіонального квазігеоїда на територію Арктики**” – емпіричний, присвячений апробації розробленого оптимізаційного алгоритму на базі методу ASHA при побудові моделі регіонального квазігеоїда на територію Арктики. В його чотирьох підрозділах подано результати побудови комбінованої з EGM2008 моделі, реалізованої за даними гравітаційних аномалій у вільному повітрі, які одержані у рамках AGP з роздільною здатністю  $5' \times 5'$ . Оптимізаційний алгоритм використано для моделювання залишкових значень гравітаційних аномалій, одержаних після вилучення з висот квазігеоїда частки, що відповідає довгохвильовим особливостям гравітаційного поля глобальної моделі EGM2008. Гравітаційні аномалії вилученої частки, яка відповідає EGM2008, обчислено до 360-го порядку. ASHA-модель залишкових значень аномалій побудована до 150-го порядку. Дві зазначених частки (довгохвильова і залишкова) в сумі утворюють комбіновану, як її називає автор, модель. Подано порівняння полів гравітаційних аномалій і відповідних полів висот квазігеоїда побудованої моделі з даними проекту AGP. Висоти комбінованої моделі квазігеоїда на досліджувану територію також співставлені з результатами GPS-нівелювання на 49 станціях. Обчисленими числовими оцінками посвідчено ефективність створення комбінованої моделі з використанням оптимізаційного алгоритму.

**Редакційний аналіз** дисертації показав, що вона є завершеною науковою працею з логічним, послідовним та обґрунтованим викладенням результатів наукових досліджень.

**Оцінка публікацій автора.** Одержані результати повною мірою висвітлені в опублікованих працях у наукових фахових виданнях і апробовані

на міжнародних конференціях. Публікації матеріалів дисертації відповідають встановленим вимогам МОН України.

**Зміст автореферату** відповідає структурі дисертаційної роботи та відображає її основні положення.

За результатами аналізу представленої роботи висловлюю такі **зауваження**:

1. На окремих графіках дисертації і автореферату відсутні позначення найменувань і розмірностей величин, які там відображуються.
2. В окремих випадках автор дозволяє собі вільне чи навіть двояке трактування загальновідомих класичних термінів і їх означень (наприклад, щодо означення надійності лінійних оцінок чи терміну “середня квадратична колокація” у підрозділі 2.6), а також невірне чи неповне їх формулювання (наприклад, вхідні дані моделі називає вихідними або пише “побудова гравітаційного поля”).
3. У розділі 2 дисертації подано детальний аналіз методів апроксимації геопотенціалу, багато з яких в дослідженнях не використовуються і в наступних розділах навіть не згадуються. Беручи до уваги, що цей розділ за обсягом складає третину дисертації, такі методи з аналізу слід було б видалити – це жодним чином не вплинуло б на логіку та повноту викладення матеріалу і результатів досліджень.
4. У розділі 4 здійснено порівняння висот власної побудованої моделі квазігеоїда з результатами GPS-нівелювання на 49 станціях. Беручи до уваги, що усі станції зосереджені локально лише у межах північних територій Канади, таке вибіркове порівняння вважаю некоректним. Його можна виправдати виключно з міркувань відсутності подібних даних загалом для усієї території Арктики.
5. У пункті 3 загальних висновків зазначено, що оптимізований алгоритм “дає змогу суттєво зменшити час обчислень”. Крім теоретичних аргументацій, які подано у підрозділі 3.7, жодних емпіричних підтверджень такому висновку немає. Це не знижує достовірності одержаних результатів і не є підставою піддавати сумнівам досягнення автора, однак порівняння і емпіричне підтвердження констатованого факту надало б їм ще більшої вагомості.

Вважаю, що подані зауваження не знижують загальної цінності дисертаційної роботи, новизни та значущості одержаних автором результатів.

**Практична цінність** роботи Б.Б. Джумана полягає у модифікації методу ASHA і розробці оптимізаційного алгоритму побудови моделі гравітаційного поля з використанням ортогональних властивостей базових функцій. Одержані результати дали змогу побудувати уточнені моделі регіонального гравітаційного поля і квазігеоїда на територію Арктики. Результати досліджень рекомендується використовувати підприємствам та установам, які займаються роботами зі створення регіональних моделей квазігеоїда для регіонів, які за формою близькі до сегменту сфери.

**Загальна оцінка дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота Б.Б. Джумана є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані експериментальні результати, що в сукупності є істотними для розвитку фізичної геодезії в частині моделювання регіональних гравітаційних полів Землі та уточнення моделі квазігеоїда.

Вважаю, що дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, достовірністю та обґрунтованістю висновків і рекомендацій відповідає вимогам МОН України до кваліфікаційних наукових праць, а Джуман Богдан Богданович гідний присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія.

Офіційний опонент -

кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та картографії Національного університету водного господарства та природокористування



О.А. Тадеєв

“ 9 ” листопада 2016 року

Підпис О.А. Тадеєва засвідчую:

Начальник відділу кадрів Національного університету

водного господарства та природокористування



М.В. Матіяш