

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертацію 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**

Актуальність теми дисертації

Починаючи з фундаментальних досліджень Лапласа, Лежандра і Гаусса в області теорії Ньютонова потенціала, класичним представленням гравітаційного потенціала небесних тіл став його запис у вигляді нескінчених рядів кульових функцій Лежандра-Лапласа-Гаусса-Максвелла, яке прийняло міждисциплінарне значення при вивченні статичних і залежних від часу полів Землі і планет. Слід зауважити, що така параметризація гравітаційного потенціала не тільки вважається стандартною, але й однією з найкращих для розв'язування сучасних наукових і прикладних задач небесної механіки, супутникової геодезії, глобальної геодинаміки, тощо.

На сьогоднішній день побудовано багато глобальних і регіональних моделей гравітаційного поля різного рівня точності. Наприклад, однією з перших моделей надвисокого рівня точності була модель EGM2008, побудована до 2190 степеня і 2159 порядку. Під час її побудови використовувалися гравіметричні та альтиметричні дані, а також дані з супутника GRACE. Також слід відмітити модель EIGEN-6C4, побудовану в 2014 році до 2190 степеня/порядку. Як вихідні дані для побудови цієї моделі використовувалися гравіметричні та альтиметричні дані, а також дані з супутників GOCE, GRACE і LAGEOS. Слід відмітити, що існує ряд моделей, побудованих виключно за супутниковими даними, проте до значно нижчих порядків. Наприклад, модель GGM05G побудована за даними з супутників GOCE і GRACE в 2015 році до 240 степеня/порядку. Що стосується регіональних гравітаційних моделей, наприклад, в 2012 році була побудована модель УКГ2012 на територію України з використанням методу середньої квадратичної колокації. Як вихідні дані використовувалися дані з шести альтиметричних місій ERS-1, ERS-2, TOPEX-POSEIDON, GFO, ENVISAT і JASON-1, а також дані GPS-нівелювання на 4070 пунктах та відомості про топографію. Проте з появою все нових і точніших даних виникає необхідність уточнення вже існуючих і побудови нових моделей гравітаційного поля.

В дисертації поставлена задача побудови поверхні регіонального (квазі)геоїда з використанням сферичних функцій Лежандра цілого степеня і дійсного порядку. Таким чином, поставлена у дисертації мета “вдосконалення існуючих методів побудови регіональних гравітаційних полів та побудова комбінованої моделі регіонального гравітаційного поля” має міждисциплінарний характер для задач геодезичної гравіметрії, геодинаміки, супутникової геодезії і геофізики. Оскільки поставлені і розв'язані задачі є суттєвим доповненням зазначених вище класичних досліджень, то актуальність теми дисертаційної роботи не викликає сумнівів.

Структурно робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел.

У *першому розділі* подано відомості про теорію потенціалу, зокрема функції потенціалу сили тяжіння, сили притягання і відцентрової сили. Також розглянуто та подано визначення поверхні геоїда, квазігеоїда і телуроїда. Подано основні відомості про аномалії висоти, а також розглянуто „чисті” і „змішані” гравітаційні аномалії у вільному повітрі. Описано процес редукції гравітаційних аномалій у вільному повітрі.

У *другому розділі* проведено аналіз існуючих методів побудови глобальних та регіональних гравітаційних полів. Існує велике різноманіття методів побудови гравітаційного поля, кожен з яких відповідає модельному або операційному підходам фізичної геодезії. Операційний підхід вимагає апріорного вивчення додаткової інформації про гравітаційне поле Землі. Врахування цієї інформації дозволяє одержати стійкий розв'язок та призводить до оптимальних лінійних оцінок. Недоліком цього методу є те, що порядок матриці, яку необхідно обернути, співпадає з кількістю вихідних даних. Модельний підхід передбачає знаходження невідомих коефіцієнтів моделі на основі вихідних даних, за допомогою яких можна знаходити геопотенціал та його трансформанти.

У *третьому розділі* детально розглянуто використання функцій Лежандра цілого степеня і дійсного порядку для моделювання регіонального гравітаційного поля. „Глобальне” представлення гравітаційних полів за допомогою сферичних функцій не є надійним, коли виміри розміщені тільки на певній частині земної поверхні. Глобальні сферичні гармоніки втрачають свою ортогональність на обмеженому регіоні і розв'язок стає нестабільним. В такому випадку доцільно використовувати функції, ортогональні в межах даного регіону.

У *четвертому розділі* виконано практичні дослідження, результатом яких є комбінована модель регіонального гравітаційного поля на територію Арктики.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується важливим доповненням відомих методів представлення гравітаційного потенціалу, використанням строгого аналітичного підходу до розв'язування поставлених задач і перевіркою окремих відомих теоретичних положень шляхом застосування більш загальних результатів автора. Достовірність отриманих результатів підтверджена практичною апробацією запропонованих методик для обчислення регіональної поверхні квазігеоїда на територію Арктики. Окремо треба відзначити високу ерудицію автора при використанні широкого спектру складних методів розв'язування задач теорії потенціалу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Розроблено методику побудови регіональних гравітаційних полів методом ASHA;
2. Узагальнено формули для обчислення та обертання розрідженої матриці нормальних рівнянь;
3. Розроблено модифікацію методу ASHA, яка дозволяє значно скоротити час обчислення невідомих коефіцієнтів моделі;
4. Створено математичну модель регіонального гравітаційного поля на територію Арктики за даними гравітаційних аномалій у вільному повітрі до 150 степеня/порядку;

Важливість для науки і практики результатів дисертації. Важливим практичним аспектом створення моделі регіонального гравітаційного поля з використанням вищезгаданого алгоритму є можливість уточнення вже існуючих моделей регіональних (на даний регіон) і глобальних гравітаційних полів. Максимально якісний розв'язок можна отримати у випадку використання великої кількості вихідних даних. Тому дана дисертаційна робота спрямована на створення методів, які дають змогу обчислення моделі на основі великої кількості різномірних даних з використанням ортогональних властивостей базових функцій на сегменті сфери.

Рекомендації щодо подальшого використання результатів дисертації.
Отримані в роботі результати можна використовувати для обчислення та уточнення вже існуючих високоточних регіональних гравітаційних полів.

По роботі зроблені такі зауваження:

1. Зайвим в дисертації є введення еліпсоїдальних координат, оскільки в подальшому не використовується розкладання гравітаційного потенціалу за функціями Ляме.
2. Не проведено дослідження гравіметричних аномалій Північного Льодовитого океану (хребтів Ломоносова, Альфа-Менделєєва).
3. Недостатньо проаналізована точність апроксимації та виникаючі спотворення при інтерпретації в різних картографічних проекціях.

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 7 наукових праць, з яких 6 статей у наукових фахових виданнях України, 3 з яких у науковому періодичному виданні України, що входить до міжнародної наукометричної бази, і 1 у збірнику конференцій. Зроблені в дисертації розробки пройшли апробацію на багатьох семінарах, конференціях та симпозіумах різного рівня і знайшли схвалення і підтримку.

Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації.
Представлені тексти дисертаційної роботи та автореферату мають ідентичний зміст.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам.

Висловлені зауваження по роботі не зменшують загального позитивного враження від виконаних автором досліджень та дисертаційної роботи в цілому.

Дисертаційна робота Джумана Б.Б. є закінченою науковою роботою і відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія. Матеріали дисертації достатньо повно викладені в опублікованих дисертантом працях, включаючи обов'язкові фахові видання. Вважаю, що дисертаційна робота Джумана Богдана Богдановича відповідає вимогам ВАК України щодо кандидатських дисертацій, а її автор безперечно заслуговує присвоєння вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор
завідувач кафедри аерокосмічної геодезії
Національного авіаційного університету

11.11.2016

Железняк О.О.

