

67-72-69/6  
24.05.16

## Відгук

офіційного додаткового опонента на дисертаційну роботу

Лук'янченко Юрія Олександровича

### «Застосування супутникових та наземних даних для побудови моделей гравітаційного поля Землі»,

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія»

**Актуальність роботи.** Розвиток геодезії характеризуються постановкою та розв'язуванням широкої низки нових задач, пов'язаних з традиційним підвищенням рівня точності вимірів. З плином часу, гравітаційне поле Землі стає все краще відомим. Очевидно, що постійно збільшуються об'єми інформації про нашу планету, що у свою чергу, веде до ускладнення одночасного її опрацювання. Також, урізноманітнюються типи вимірів, які пов'язані із гравітаційним полем Землі. Це все дає можливість побудувати комбіновану модель гравітаційного поля, яка б відтворювала максимально наближено гравітаційний потенціал Землі та стала б основою для залежних від часу моделей гравітаційного поля.

Варто відзначити, що для побудови моделей гравітаційного поля використовуються як супутникові так і наземні дані. Кожні з них мають певні недоліки: наприклад, при виконанні вимірювань на земній поверхні ми стикаємось з проблемою недоступності всієї земної кулі (океанічні поверхні, гірські хребти) в той же час супутникові виміри покривають всю Землю, але вони виконуються на певній висоті від поверхні Землі, де гравітаційний потенціал вже є більш згладженим і такі виміри не дають можливості обчислювати цей потенціал на земній поверхні з достатньою точністю.

Крім традиційних наземних даних у роботі використовуються дані супутникової місії GOCE, яка позбавлена недоліків описаних у попередньому

абзаці, оскільки висота орбіти супутника складає близько 250 кілометрів. Дана орбіта є найнижчою серед супутників, які стосуються дослідження гравітаційного поля Землі. Більш того на супутнику встановлено електростатичний градієнтометр, що дав змогу вперше виміряти гравітаційні градієнти на навколосемній орбіті.

Таким чином тематика дисертаційного дослідження Лук'янченко Ю. О. є актуальною і має теоретичне і практичне значення.

**Обґрунтованість та достовірність** представлених у роботі висновків та рекомендацій підтверджується незалежною перевіркою запропонованої методики з використанням реальних вимірів. При всіх дослідженнях застосовуються сучасні геодезичні методи. Достовірність і обґрунтованість отриманих результатів підтверджена, зокрема, порівнянням отриманих моделей з даними GNSS-нівелювання.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

У роботі використовуються дані супутникової градієнтометрії та наземні дані аномалій сили тяжіння, що дало змогу отримати розв'язок для комбінованої моделі гравітаційного поля Землі. Запропонована антиподно-рівномірна сітка розташування вхідних даних призвела до розрідженої матриці системи нормальних рівнянь, що дозволило спростити її розв'язання, і в результаті, призвело до отримання моделі гравітаційного поля Землі до 720 порядку/ступеня.

Розроблений алгоритм використання різнотипних даних для побудови моделей гравітаційного поля дозволив виконувати такі обчислення за допомогою звичайних персональних комп'ютерів.

**Практичне значення одержаних результатів.**

В результаті дисертаційних досліджень вперше в Україні була отримана модель LP-04C з роздільною здатністю 15'x15' (до 720 ступеня/порядку), яка може бути використана для побудови трансформант гравітаційного поля Землі та врахування дальніх зон при побудові локальних комбінованих моделей. В цьому разі модель стає особливо важливою для геодезистів,

оскільки дозволяє зв'язок між геодезичними та нормальними висотами. З появою GNSS систем така задача переходу між системами висот повсякденно виникає при виконанні робіт на виробництві.

Робота має важливе значення, зокрема, для науковців, які займаються моделюванням гравітаційного поля Землі. Процес побудови такої моделі високих порядків потребує використання потужних комп'ютерних ресурсів, таких, як обчислювальні кластери, що значно обмежує коло науковців, які б могли займатися даними питаннями. Таким чином, наведені напрацювання у дисертаційній роботі дозволяють зменшити необхідні технічні ресурси для побудови моделі гравітаційного поля Землі і водночас розширити спектр науковців, які б могли проводити дослідження в даному питанні.

**Повнота викладання наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях.** Основні положення досліджень за темою дисертації опубліковані в 7 наукових працях, з них: 4 статті у фахових виданнях, одна стаття у виданні України, яке входить до міжнародної наукометричної бази, 2 статті у збірниках матеріалів конференцій.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України, щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації і достатньо повно відображає основні положення дослідження.

### **Аналіз змісту дисертації**

Дисертаційна робота Ю. О. Лук'янченко складається із переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 112 сторінок, 37 рисунків, 4 таблиці, 4 блок-схеми, список використаних джерел містить 110 найменування.

**У вступі** Лук'янченком Ю. О. виділено об'єкт дослідження, обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета та задачі досліджень, викладені наукова новизна та практична значимість отриманих

результатів, наведені дані про особистий внесок, публікації та апробацію наукових розробок.

**У першому розділі** проведено аналіз досліджень, які були виконані у даній галузі, показано розвиток побудови моделей гравітаційного поля у хронологічному порядку. Визначено питання, які потребують детальнішого опрацювання і виходячи з цього поставлено основні задачі дисертаційного дослідження.

**У другому розділі** подано теоретичні відомості, які необхідні для розуміння подальшого матеріалу. Надається опис вхідних даних. Розглянуто основи теорії потенціалу та використання сферичних гармонічних коефіцієнтів для моделювання гравітаційного поля Землі.

**У третьому розділі** запропоновано алгоритм редукції гравітаційних градієнтів на сферичну поверхню та розроблено антиподно - рівномірну сітку. Далі, описані вище розробки використовуються для врахування дискретної ортогональності сферичних функцій в процес обчислення гармонічних коефіцієнтів. Також подано методику побудови елементів матриці нормальних рівнянь із використанням одної восьмої всіх даних (дані лише першого октанту).

**У четвертому розділі** побудовано комбіновану модель гравітаційного поля Землі LP-04C 720 порядку/ступеня із використання власних напрацювань. Достовірність моделі підтверджена шляхом апробації її на двох незалежних масивах даних.

#### **Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційного дослідження.**

1. У роботі використано лише вертикальні гравітаційні градієнти, однак супутник GOCE забезпечив повний тензор градієнта других похідних гравітаційного потенціалу. Бажано використовувати всі виміри, а не лише вертикальні градієнти.
2. Не наведено оцінку точності отриманих гармонічних коефіцієнтів.
3. Не достатньо чітко подано хронологічний опис розвитку моделей геопотенціалу.

- 69-92-83/6  
24.05.16
4. Визначення геоїда (с.8) некоректне, оскільки рівнева поверхня, яка задає геоїд має реальне значення потенціалу  $W_0$ , воно не пов'язане з потенціалом  $u_0$  на поверхні нормального еліпсоїда. Навпаки, коли визначають нормальний еліпсоїд ставлять умову, щоб потенціал на його поверхні  $u_0 = W_0$ .
  5. Однією з задач, які дисертант розв'язував у третьому розділі є визначення радіуса вектора сфери, як поверхні для редукування на неї всіх вертикальних гравітаційних градієнтів. На нашу думку, слід більш детально описати умови вибору цього радіуса і порядок його обчислення (особливо, в авторефераті).

#### Загальна оцінка дисертаційної роботи :

Приведені зауваження не зменшують загального схвального враження від виконаних автором досліджень та дисертаційної роботи в цілому.

Дисертаційна робота Ю. О. Лук'янченко є завершеною науковою працею, в роботі отримані нові науково-обґрунтовані результати, які є суттєвими для розвитку глобальних гравітаційних моделей.

Оформлення дисертації і автореферату в цілому, відповідає діючим нормативним документам.

Виконані дослідження мають наукову новизну та практичну цінність. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія та вимогам, щодо порядку присудження наукових ступенів Міністерства освіти і науки України, а її автор Лук'янченко Юрій Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний додатковий опонент,  
завідувач кафедри інженерної геодезії  
Івано-Франківського національного технічного  
університету нафти і газу,  
доктор технічних наук, професор

К. О. Бурак

Підпис(и) К. О. Бурак

посвідчую  
вчений секретар ІФНТУНГ В. В. Тарасюк

17. 05. 2016. р.