

УДК 528.21/22

ПРО ВРАХУВАННЯ НЕПРИПЛИВНИХ ЗМІН ПРИСКОРЕННЯ СИЛИ ВАГИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ АБСОЛЮТНИХ ВИМІРЮВАНЬ

П. Двудіт

Національний університет "Львівська політехніка"

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями

Сучасний розвиток гравіметрії характеризується насамперед значним удосконаленням виміральної апаратури і не менш значним зростанням точності вимірювань. Так, абсолютні вимірювання сучасними стаціонарними та транспортними балістичними гравіметрами виконують з похибкою один – декілька мікрогалів [6]. У зв'язку з поступовим підвищенням точності вимірювань прискорення сили ваги в другій половині ХХ століття виникла ще одна важлива проблема сучасної гравіметрії – вивчення неприпливних змін прискорення сили ваги [3, 6].

Дослідження неприпливних змін прискорення сили ваги в геодезії необхідне для вивчення зміщення центра мас Землі, зміни поверхні Землі та елементів зовнішнього гравітаційного поля, стабільності інженерних споруд [3, 6]. У геофізиці такі дослідження необхідні для перевірки геодинамічних гіпотез моделей Землі, вивчення тектонічних процесів, сейсмічних явищ, вулканізму тощо [6, 9]. Зауважимо, що на часові зміни прискорення сили ваги також впливають рух земних полюсів і зміна кутової швидкості обертання Землі, вертикальні рухи земної кори, тектонічні і сейсмічні явища, стабільність гравітаційної сталої [5, 6, 10].

Отже, під час створення високоточної опорної гравіметричної мережі і перманентних станцій GPS України необхідно враховувати неприпливні зміни при виконанні повторних високоточних абсолютних вимірювань з метою контролю стабільності гравітаційного поля і введення відповідних поправок в результати геодезичних вимірювань.

Аналіз досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми

Про актуальність вивчення неприпливних змін прискорення сили ваги свідчать численні публікації [1–9], які стосуються теоретичних та експериментальних досліджень цієї проблеми, в яких автори наводять різні причини можливих змін прискорення сили ваги глобального, регіонального і локального масштабів. Відомі періодичні, неперіодичні і вікові неприпливні зміни прискорення сили ваги. До періодичних належать різні метеорологічні фактори (періодичні коливання атмосферного тиску, сезонні випадання опадів, коливання ґрунтових вод і вологості ґрунту), власні коливання Землі, зумовлені землетрусами і штормами в океані [2, 4, 6]. Неперіодичні неприпливні зміни прискорення сили ваги зумовлені неперіодичними коливаннями атмосферного тиску, опадами, вологістю ґрунту і рівнем ґрунтових вод. Крім того, треба відзначити неперіодичні коливання швидкості обертання Землі, землетруси, вулканізм і діяльність людини (гірничі виробки, створення великих водосховищ тощо) [4, 5, 9]. Причинами неприпливних вікових змін прискорення сили ваги найчастіше є зміна гравітаційної сталої та уповільнення обертання Землі, а також зміна положення мас у надрах Землі при виверженні вулканів, землетрусах. До таких вікових неприпливних змін прискорення сили ваги зараховують рух літосферних плит, вікові рухи земної кори, зміна фізичних властивостей Землі [1, 5, 6].

Постановка завдання і виклад основного матеріалу

Наведемо аналіз сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень щодо вивчення проблеми неприпливних змін прискорення сили ваги глобального, регіонального та локального характеру. Спочатку коротко розглянемо деякі теоретичні аспекти цієї проблеми щодо впливу різних чинників.

1. Атмосферний вплив.

Атмосферні маси постійно змінюються на земній поверхні і впливають на абсолютні вимірювання прискорення сили ваги. На основі виконаних теоретичних досліджень різними авторами при спокійному полі аномального атмосферного тиску атмосферну поправку враховують за формулами

$$\Delta P = 3(P - P_0); \quad (1)$$

$$P_0 = 1013,25 \left(1 - \frac{0,0065}{288,15} H \right)^{5,2539}; \quad (2)$$

$$\delta g_{c.z.} = 0,0075 \left(\sin \frac{\psi_2}{2} - \sin \frac{\psi_1}{2} \right) \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (3)$$

де P – реальний атмосферний тиск, гектопаскалі; P_0 – нормальний атмосферний тиск, гектопаскалі; H – висота пункту над рівнем моря, м; $\sum_{i=1}^n \Delta P_i$ – сума середніх значень аномального атмосферного тиску сферичної зони.

2. Сезонний вплив наявності снігових мас.

Маси снігового покриву подають у вигляді неоднорідного простого сферичного шару. Притягання впливу снігових мас центральної зони підраховують за виразом

$$\delta g_0 = -2\pi G \delta h \quad (4)$$

А притягання снігових мас трапецій сферичних зон, обмежених радіусами ψ_i , ψ_{i+1} та азимутами A_j , A_{j+1} , оцінюють за формулою

$$\delta g_T = -G \delta h \left(\sin \frac{\psi_{i+1}}{2} - \sin \frac{\psi_i}{2} \right) (A_{j+1} - A_j); \quad (5)$$

$$\delta g_{c.z.} = -G \delta h \left(\sin \frac{\psi_{i+1}}{2} - \sin \frac{\psi_i}{2} \right) \cdot (A_{j+1} - A_j) \sum_{i=1}^n \delta_i h_i, \quad (6)$$

де G – гравітаційна стала; δh – змінна поверхнева густина снігових мас; δ – об'ємна густина снігу; h – висота снігового покриву; $\sum_{i=1}^n \delta_i h_i$ – сума середніх значень поверхневої густини снігу трапецій сферичної зони.

3. Вплив варіацій рівнів ґрунтових вод.

Однією з основних причин неприпливних змін прискорення сили ваги в часі можуть бути періодичні та неперіодичні зміни кількості води у верхніх шарах літосфери. Коливання рівня ґрунтових вод впливає на зміну прискорення сили ваги, яке можна оцінити за формулою для нескінченного плоскопаралельного шару

$$\delta g = 2\pi G \sigma h, \quad (7)$$

де G – гравітаційна стала; σ – об'ємний коефіцієнт водовіддачі гірських порід; h – багатолітня або річна амплітуда рівня ґрунтових вод.

4. Вплив руху земних полюсів і зміни кутової швидкості обертання Землі.

Рух полюса відбувається внаслідок спільного впливу нутації пружної Землі, випадкових сейсмічних процесів і вимушених коливань внаслідок дії метеорологічних, океанічних і гідрологічних процесів. Вікові варіації руху полюса можна пояснити глобальними тектонічними і гляціологічними змінами.

Вікове зменшення величини кутової швидкості обертання Землі зумовлене переважно припливним тертям, а періодичні варіації – метеорологічними процесами і припливними явищами, а нерегулярні зміни – сеймотектонічними переміщеннями.

Поправку за рух земних полюсів і швидкість обертання Землі вводять в абсолютні вимірювання прискорення сили ваги. Її виражають таким виразом

$$\delta g_p = -1,164 \cdot 10^8 \omega^2 R \sin 2\varphi (x \cos \lambda - y \sin \lambda), \quad (8)$$

де ω – кутова швидкість обертання Землі; R – середній екваторіальний радіус еліпсоїда обертання; φ , λ – географічні координати спостережуваного пункту; x , y – координати полюса в радіанах, інтерпольовані із астрономічного щорічника.

Для дослідження неприпливних змін прискорення сили ваги були виконані повторні високоточні абсолютні вимірювання в пунктах світової опорної гравіметричної мережі і геодинамічних полігонів. Наведемо деякі результати експериментальних досліджень глобального, регіонального і локального характеру, які отримані різними авторами. Так, за результатами порівнянь показів різних типів абсолютних гравіметрів кожні чотири роки в лабораторії Міжнародного бюро мір і ваг (Севр, 16 приладів) одержана похибка 18 мікрогалів, що перевищує приблизно в три рази похибки вимірювання з кожним типом гравіметра. Крім цього, спостереження, виконані Сакумою [8] стаціонарним балістичним гравіметром, показали зростання прискорення сили ваги приблизно 0,5 мікрогала на рік, а в 1969–1973 роках відзначено також зростання близько 44 мікрогалів. Різниця прискорення сили ваги в 1977–1982 роках за спостереженнями в Парижі за допомогою абсолютних вимірювань радянським приладом ГАБЛ, французьким Jeager і американським FG-4 підтвердило ці зміни, а саме 48 мікрогалів до системи IGSN-71.

Такі зміни прискорення сили ваги зафіксовані в Потсдамі (+48 мкГал), у Гельсінкі (+28 мкГал) і в Москві (+62 мкГал). За період з 1972 по 1982 роки в пунктах Євроазіатської плити (Севр, Потсдам, Москва і Новосибірськ) прискорення сили ваги змінюється в межах ± 10 мкГал.

На кафедрі вищої геодезії та астрономії Національного університету “Львівська політехніка” виконано детальні дослідження впливу різних факторів на прискорення сили ваги [5,6]:

- а) притягання атмосферою – (10 – 20) мкГал;
- б) деформація Землі у разі змін в атмосфері – (0 – 5) мкГал;
- в) динаміка рельєфу поверхні Світового океану – (5 – 10) мкГал;
- г) маси снігового покриву – (5 – 10) мкГал;
- д) гідрологічний режим – (20 – 30) мкГал;
- е) перерозподіл мас у надрах Землі – (10 – 20) мкГал;
- є) техногенний чинник – (15 – 20) мкГал.

Деформації поверхневого шару земної кори, викликані сучасними вертикальними рухами, приводять до зміни прискорення сили ваги не більше ніж 0,2 мкГал, а переміщення центра мас Землі внаслідок геодинамічних процесів 10 мм на рік – (2–3) мкГал. Глобальний рух континентальних плит викликає відповідну зміну прискорення сили ваги до 0,05 мкГал.

Сезонна зміна рівня океанічних вод, отримана методом супутникової альтиметрії, спричиняє варіацію гравітаційного поля близько 0,6 мкГал. Вплив руху полюса на абсолютні значення прискорення сили ваги може сягати (8–8,2) мкГал, а впливом варіації швидкості обертання Землі можна знехтувати.

Висновки

На підставі аналізу теоретичних та експериментальних досліджень неприпливних змін прискорення сили ваги можна зробити такі висновки:

1. Вплив аномальних атмосферних мас на абсолютні вимірювання прискорення сили ваги становить декілька десятків мікрогалів.
2. Сезонні зміни рівня ґрунтових вод – близько 2 метрів – породжують коливання прискорення сили ваги з амплітудою до 30 мкГал.
3. Притягання мас снігового покриву висотою більше ніж 0,3 метра приводить до збільшення прискорення сили ваги до 7 мкГал.
4. Максимальні зміни прискорення сили ваги, зумовлені перерозподілом мас верхніх шарів земної кори, не перебільшує перших десятків мкГал.
5. Неприпливні зміни прискорення сили ваги техногенного походження мають локальний характер і за абсолютною величиною не перевищують (1–2) мГал.
6. Під час інтерпретації повторних абсолютних вимірювань прискорення сили ваги необхідно враховувати впливи чинників неприпливного характеру, тому що їхній сумарний вплив може сягати декілька десятків – сотень мікрогалів.

Література

1. Буланже Ю.Д. и др. По поводу неприливных изменений силы тяжести // Доклады АН СССР.– Выпуск № 3. – Москва, 1984. – С.570–573.
2. Двулит П.Д. Об учете переменных аномальных масс атмосферы при высокоточных измерениях силы тяжести // Труды II Орловской конференции.– К.: Наукова думка, 1988. – С.88–89.
3. Двулит П.Д. Влияние неприливных изменений гравитационного поля Земли на результаты высокоточных геодезических измерений // Состояние и перспективы инженерно-геодезических и инженерно-фотограмметрических работ. – Москва, 1990. – С.30–34.
4. Двуліт П.Д. Методика врахування впливу гідрологічного фактора на характеристики гравітаційного поля Землі // Труды III Орловской конференции. – К.: Наукова думка, 1994. – С.113–115.
5. Двуліт П.Д. Гравіметрія. – Л.: ЛАГТ, 1998. – 195 с.
6. Двуліт П.Д. Методи врахування впливу геофізичних факторів на варіації гравітаційного поля Землі: Дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.24.01. – Л., 1999. – 225 с.
7. Двуліт П.Д. Часові зміни прискорення сили ваги, зумовлені впливом руху полюса і зміною кутової швидкості обертання Землі. – ГКА, № 60. – 2000. – С.15–16.
8. Сакума А. О тенденциях вариаций силы тяжести по измерениям в Бюро мер и весов в Севре, Франция // Материалы XV Генеральной Ассамблеи МГТС. – Москва, 1971.
9. Barlik M. Pomiarы grawimetryczne w geodezji. – OWPW. – Warszawa, 2001. – 190 s.
10. Barlik M., Pachuta A. Geodezja fizyczna i grawimetria geodezyjna. – Teoria i praktyka. – OWPW. – Warszawa, 2007. – 365 s.

Про врахування неприливних змін прискорення сили ваги під час виконання високоточних абсолютних вимірювань

П. Двуліт

Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень, зумовлених впливом неприливних змін прискорення сили ваги глобального, регіонального і локального характеру на абсолютні вимірювання. Отримані числові значення можливого впливу різних факторів неприливних змін. Вказані поправки необхідно вводити у високоточні абсолютні вимірювання прискорення сили ваги мікрогальної точності.

Об учете неприливных изменений ускорения силы тяжести при выполнении высокоточных абсолютных измерений

П. Двулит

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с учетом неприливных изменений ускорения силы тяжести глобального, регионального и локального характера на абсолютные измерения. Получены числовые значения возможного влияния различных факторов неприливных изменений. Указанные поправки рекомендуется вводить в высокоточные абсолютные измерения силы тяжести микрогальной точности.

About the account of unwave changes of acceleration of gravity at implementation of the high-fidelity absolute measurings

P. Dvulit

Results over of theoretical experimental researches, unreveal changes of acceleration of force of weight of global, regional and local character conditioned influence, are brought on the absolute measurings. The numerical values of possible influence of different factors of unreveal changes are got. The indicated amendments must be entered in the high-fidelity absolute measurings of acceleration of force of weight of mikrogal'noy exactness.