

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГРАВІМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

В. Оголюк, Г. Сидоренко, В. Соловійов, С. Світлов

(ДНВО "Метрологія")

Вступ

Дослідження на геодинамічних полігонах дають найбільший ефект при використанні максимального обсягу різноманітної інформації про процеси, що діють як на поверхні, так і в глибині Землі. Одним з важливих джерел інформації є результати повторних гравіметричних вимірювань неприпливних змін сили ваги. Ці вимірювання дають можливість отримати інформацію про геодинамічні процеси та тектонічну структуру відносно дешевим засобом і у поєднанні з іншими методами складати відповідні прогнози, а також розв'язувати такі проблеми [1]:

- визначення фігури Землі на основі вивчення великомасштабних варіацій сили ваги у функції географічної широти;

- побудова моделей глибинних густин неоднорідностей та оцінка пружних напруг поверхні Землі за локальними аномаліями сили ваги;

- оцінка рухів глибинних мас.

Для України актуальною є задача пошуку передвісників техногенних катастроф у зоні побудови та експлуатації таких великих народно-господарських об'єктів, як гідроелектростанції з гігантськими водосховищами, атомні електростанції, газо та нафто сховища, шахтні та рудні виробки тощо. Цей пошук також проводиться шляхом комплексного моніторингу на відповідних геодинамічних полігонах з використанням у тому числі повторних гравіметричних вимірювань. Постійний моніторинг розподілу геокінематичних та геодинамічних параметрів є також необхідним в зсувних районах Південного Берега Криму і ряду міст України. Хоч територія України з точки зору сейсмічної активності є відносно спокійною, у деяких районах (Карпати, Крим, Донбас) вважається доцільним проведення регулярних гравіметричних вимірювань у комплексі з іншими геодинамічними спостереженнями [2].

Державний спеціальний еталон одиниці прискорення сили ваги

Програми абсолютних гравіметричних робіт у розвинутих країнах (США, Франція, Японія,

Італія та ін.) виконуються у тісному зв'язку з національними метрологічними організаціями. Високоточні гравіметричні вимірювання являють собою багатофакторний науковий експеримент і в зв'язку з цим потребують детального аналізу похибок, врахування умов виконання робіт та чіткого зв'язку з еталонами фізичних величин, що використовуються. Все це потребує відповідного розвитку метрологічного забезпечення гравіметрії в Україні.

З цією метою в ДНВО «Метрологія» на протязі 1992 - 1996 років було створено державний спеціальний еталон одиниці прискорення сили ваги (ПСВ) та розроблено Державний стандарт України [3], який регламентує порядок передавання одиниці прискорення сили ваги за допомогою еталона і зразкових засобів вимірювання робочим засобам. Базою для виконання цих робіт були численні розробки ДНВО «Метрологія» в галузі створення абсолютних гравіметрів, а також їх метрологічного та програмного забезпечення.

Еталон має такий склад (рис. 1): фундаментальний гравіметричний пункт (ФГП), стаціонарний балістичний гравіметр (СБГ), транспортабельний балістичний гравіметр (ТБГ), спеціальний транспортний засіб, два фундаментальних гравіметричних пункти-сателіти (ФГП-С).

ФГП - це спеціально обладнане приміщення з фундаментами, де підтримуються нормальні умови навколишнього середовища. Стаціонарний балістичний гравіметр встановлено на фундаменті ФГП і його призначено для вимірювання прискорення сили ваги з метою відтворення і зберігання його величини, а також для періодичних вимірювань ПСВ на ФГП-сателітах з метою їхнього атестації і використання як еталонів порівняння.

Транспортабельний балістичний гравіметр служить для передачі абсолютних значень ПСВ зразковим засобам вимірювання першого класу - опорним гравіметричним пунктам (ОГП) державної фундаментальної мережі (ДФМ). Перевозиться ТБГ за допомогою спеціального транспортного засобу. Повірка ТБГ здійснюється на фундаментах ФГП або на ФГП-сателітах. ФГП-сателіти являють собою споруди, що обладнані



Рис. 1. Структура еталона одиниці прискорення сили ваги.

для високоточних гравіметричних спостережень і розташовані на відносно невеликій відстані від еталонного фундаментального пункту (селище Липці Харківської області та Полтавська гравіметрична обсерваторія).

В процесі створення еталона було виконано теоретичні розрахунки та експериментальні дослідження складових похибок вимірювання, а під час міжнародних звірянь [4] було оцінено невилучені систематичні похибки. Результати досліджень показали, що сумарна похибка вимірювань складає 10-15 мкГал (1 Гал == 1 см/с²), що відповідає світовому рівню. Таким чином, вперше на Україні створено спеціальний еталон, який здатний очолити Державну повірочну схему для засобів вимірювань ПСВ.

Державна повірочна схема для засобів вимірювань ПСВ.

Державна повірочна схема (рис. 2) в Україні та в СНД розроблена вперше [3]. При розробці Державного стандарту виходили з

завдання забезпечити передавання одиниці ПСВ у всі області цих вимірювань з урахуванням перспектив розвитку гравіметрії в Україні.

Кількість засобів вимірювання та мір ПСВ в Україні на час розробки повірочної схеми не дуже велика. Це дозволило не ускладнювати схему великою кількістю ступенів. Найбільш високі вимоги висуваються до точності фундаментальних пунктів, що складатимуть основу геодезичної служби в Україні (похибка на рівні 30 - 40 мкГал). Близьку похибку мають і маятникові комплекси «Агат». Таким чином, еталон повинен мати сумарну похибку на рівні 10 -15 мкГал, що є близьким до сучасного рівня найбільш точних гравіметричних вимірювань. Похибки робочих засобів вимірювання дорівнюють 100 - 1000 мкГал. Цей діапазон може бути економно перекритий всього двома ступенями повірочної схеми. Як зразкові засоби вимірювань 1 розряду можуть використовуватись фундаментальні пункти та пункти 1 класу, а також високоточні абсолютні гравіметри та гравіметричні комплекси «Агат». Вони застосуються для передачі одиниці

зразковим засобом вимірювання 2 розряду. Як зразкові засоби вимірювання 2 розряду використовуються вузькодіапазонні і широко-діапазонні наземні полігони, а також відносні та абсолютні гравіметри з похибками 80 - 150 мкГал. Засоби вимірювання та міри 2 розряду передають одиницю робочим засобам вимірювання та мірам.

Що стосується морської гравіметрії, то похибки набортних робочих засобів вимірювання досить великі. Тому вважається доцільним, щоб відповідну гілку повірочної схеми цього різновиду вимірювачів очолив абсолютний гравіметр 2 розряду, що повіряється на сухопутних полігонах. Відповідно, з'являється необхідність ввести 3 розряд повірочної схеми, до якої віднесено шельфові та морські полігони з похибкою 0,1 - 0,5 мГал, на яких вже будуть повірятись робочі морські гравіметри.

Як відомо, на практиці для визначення ціни поділки (еталонування) гравіметрів використовують нахиломірні пристрої. Такі установки є і в Україні, і для них у повірочній схемі введено окреме поле як для засобу вимірювання, що взятий з іншої повірочної схеми.

Розроблена повірочна схема пройшла необхідну апробацію у спеціалістів різних міністерств та відомств. Були відзначені простота і логічність побудови, економічність і в той же час повний обсяг робочих засобів вимірювання.

Законодавче регулювання гравіметричних вимірювань в Україні

Наказом Голови Держстандарту України № 276 від 05.07.96 створений еталон ДЕТУ 02-02-96 затверджено як державний спеціальний. Цим же наказом також затверджено Державну повірочну схему для засобів вимірювання ПСВ. Це означає, що усі вимірювання цієї величини в Україні повинні бути погоджені з вимірюваннями, що виконуються на еталонній установці. Це погодження і передбачено у повірочній схемі шляхом використання послідовних вимірювань на різних її рівнях.

Гравіметри і гравіметричні пункти, що використовуються у геодинамічних дослідженнях, з метою отримання найбільш достовірних результатів також доцільно піддавати періодичній повірці. Для додаткової переатестації можуть бути використані існуючі в Україні полігони: Київсько-Дніпропетровський та Карпатський гравіметричні, Кримський геодинамічний, а також геодинамічні полігони на об'єктах атомної енергетики, де можуть повірятись відносні гравіметри. За допомогою зразкових гравіметрів (балістичних або маят-

никових комплексів) можуть повірятись опорні гравіметричні пункти на геодинамічних полігонах.

Перспективи використання абсолютних балістичних гравіметрів

Для реалізації вимірювань на геодинамічних полігонах найбільш придатні як з економічної, так і з технічної точки зору абсолютні гравіметри, які дозволяють виконувати вимірювання як в одному пункті, так і на полігоні, не потребують попередньої розбивки зразкових полігонів, мають велику досягнуту і потенційну точність. Однак для роботи на опорних пунктах, зокрема, в Карпатах, де умови для абсолютних вимірювань не завжди сприятливі, необхідні прилади, придатні для роботи в досить жорстких польових умовах. На наш погляд, цим вимогам відповідають гравіметри, створені в ДНВО «Метрологія». Ці гравіметри спеціально призначені для роботи в польових умовах, як у кузові спеціалізованого автомобіля, так і з винесенням частини обладнання на ґрунт, а також для вимірювання в обладнаних приміщеннях. Підтвердженням їх експлуатаційного та метрологічних якостей є результати кліматичних та механічних випробувань, а також виконання циклів вимірювання у Польській республіці, куди апаратура транспортувалась на автобусі без спеціальних захисних засобів.

Прототип портативного гравіметра із складу еталона (модель ОР-05) було використано для утворення Польської фундаментальної мережі [4]. Всього було виконано понад 30 абсолютних вимірювань на 15 станціях Західного, Центрального і Східного базису з похибками до 20 мкГал. Вимірювання проводились у різних умовах: від монолітних фундаментів і скелистих порід до тонкої бетонної підлоги; від відкритого повітря з температурою біля 0°C до кондиційованих приміщень. Польський фундаментальний гравіметричний пункт складається з двох пунктів-сателітів «Борова Гура» та «Юзефослав». Ці пункти розташовані на відстані 50 км по меридіану. Повторні вимірювання на протязі двох років показали, що результати збігаються з похибками 5-7 мкГал для кожного пункту. Абсолютна різниця з давнім (1978 року) результатом, отриманим гравіметром ГАБЛ (Новосибірськ), склала 13 мкГал. Щодо відносної різниці між пунктами, вона відхилилась від результатів, отриманих LCR гравіметром, на 12 мкГал. Повторні абсолютні вимірювання, виконані на той час на пункті «Харків» по схемі «Харків-

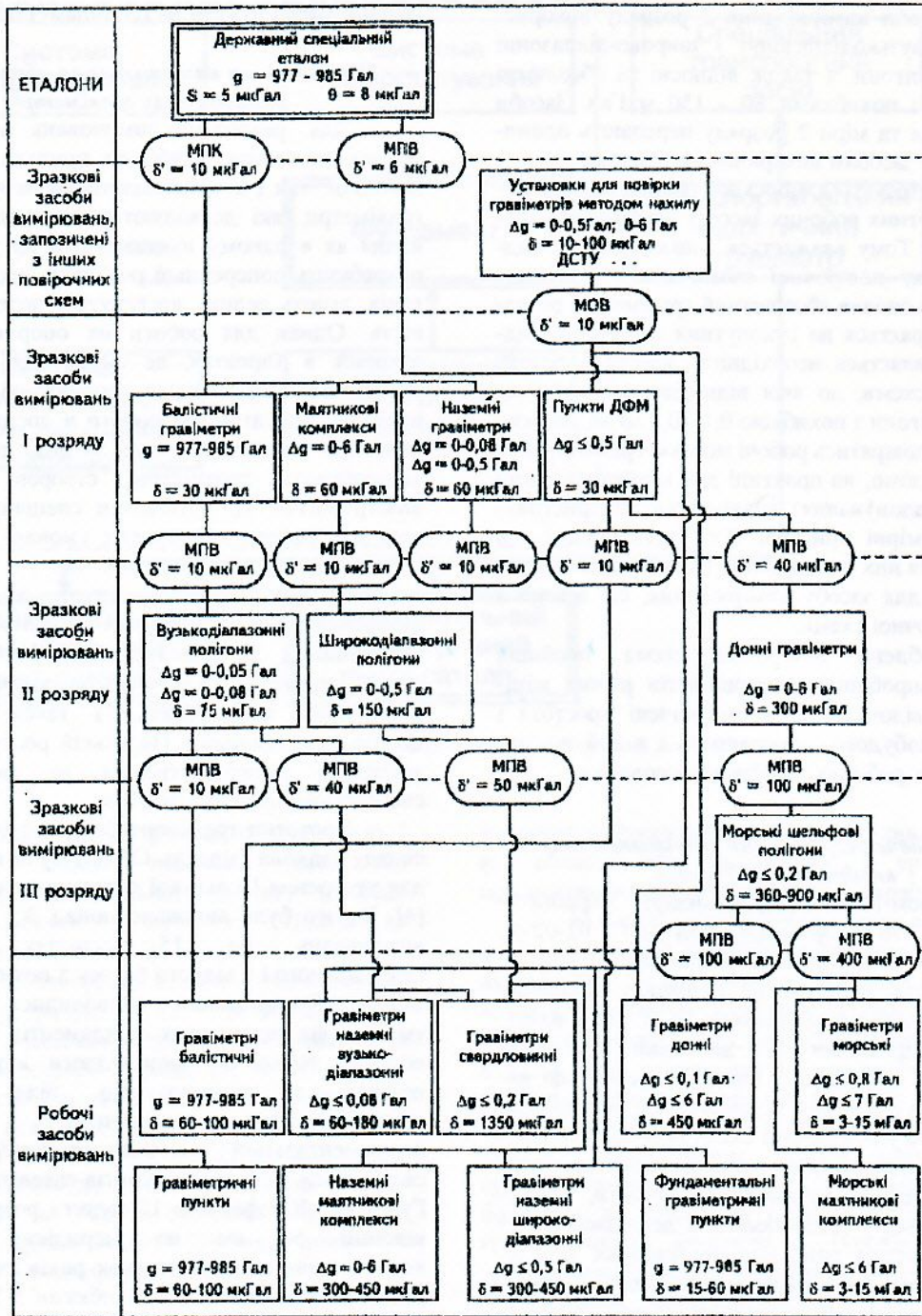


Рис. 2. Державна повірочна схема для засобів вимірювань прискорення сили ваги g (ПСВ). Δg - різниця ПСВ; S - середнє квадратичне відхилення; \ominus - невилучена систематична похибка; $\delta = 3S$ - довірна абсолютна похибка (довірна ймовірність 0,99); δ' - похибка передавання розміру одиниці ПСВ; МПВ - метод прямих вимірювань; МПК - метод порівняння за допомогою компаратора; МОВ - метод опосередкованих вимірювань; ДФМ - державна фундаментальна мережа.

Борова Гура-Харків», показали збіг результатів у межі 6 мкГал. Попередній аналіз редукції абсолютних значень, отриманих на пункті «Борова Тура» американським гравіметром P05-105, показує, що атестоване значення ПСВ на пункті 1-го класу Української гравіметричної мережі «Харків 1770» є завищеним приблизно на 100 мкГал. Перші результати, отримані з транспортбельним гравіметром із складу спеціального еталона на протязі 1997 року на новому фундаментальному пункті «Харків», оцінюються похибками 10 мкГал (випадкова) та 8 мкГал (систематична). Наступні перспективи використання транспортбельного гравіметру пов'язані з необхідністю подальшого відновлення Української абсолютної гравіметричної мережі та сполучання її із сучасними гравіметричними мережами східноєвропейських країн.

Висновки

Створення державного спеціального еталона одиниці ПСВ та відповідної повірочної схеми дозволяє метрологічне забезпечити використання гравіметрів для моніторингу на геодинамічних полігонах різного призначення. В Україні створена наукова та технічна база для розробки, виробництва та використання абсолютних балістичних гравіметрів, придатних для виконання

вимірювань у польових умовах, у тому числі на геодинамічних полігонах. Існуючі гравіметрична мережа та гравіметричні полігони України у разі спирання їх на один із пунктів мережі I08M-71 (Головний Гравіметричний Пункт колишнього СРСР) можуть містити систематичні похибки понад 100 мкГал і потребують негайного відновлення. Така робота може бути виконана спеціалістами ДНВО «Метрологія».

Література

1. Torge, W. Gravimetry. - De Gruyter: Berlin; New York, 1989. - 472 p.
2. Соловійов В.С., Шурубкін В.Д., Грабовська Л.А., Локшин Ю.В. Стан та перспективи розвитку вимірювань прискорення сили ваги (гравіметрії) та їх метрологічного забезпечення в Україні // Український метрологічний журнал. - 1996. - Вип. 2-3. - С.62-67.
3. ДСТУ 3382-96. Державна повірочна схема для засобів вимірювань прискорення сили ваги.
4. Bondarenko V., Lokshin Yu., Svetlov S., Sidorenko G., Solovjov V. and Shurubkin V. SSIA "Metrology" absolute gravimeters // International Association of Geodesy symposia. - Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. - Vol. 117. - P. 20-23.

V.Ogolyuk, G. Sidorenko, V.Solovjov, S. Svetlov METROLOGICAL ASSURANCE OF GRAVIMETRIC MEASUREMENTS

Summary

Status of metrological assurance of gravimetric measurements in the Ukraine is outlined Results of the State Special Standard developing and the State Verification Scheme structuring are shown as well an experience "with the SSIA Metrology transportable absolute gravimeters is discussed.

В. Оголюк, Г. Сидоренко, В. Соловійов, С. Светлов МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Резюме

Изложена ситуация в Украине в области метрологического обеспечения измерений ускорения силы тяжести. Представлены результаты работ по созданию Государственного специального эталона и поверочной схемы, а также разработки и исследования полевых абсолютных баллистических гравиметров в ГНПО «Метрология».