



## ЗАВДАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ

*Дан анализ современного состояния опорных гравиметрических сетей Германии и Польши. С учетом опыта этих стран предложены рекомендации относительно модернизации гравиметрической сети Украины.*

*The modern state of the existing gravimetric networks of Germany and Poland is analyzed. Based on the experience of these countries the recommendations are developed with regard to the modernization of Ukraine gravimetric network.*

**Вступ.** В останні роки набули інтенсивного розвитку фундаментальні прикладні геодезичні та геофізичні дослідження Землі, спрямовані на поглиблене вивчення її гравітаційного поля. Найважливіші напрями цих досліджень: уточнення фігури Землі та структури земної кори, визначення форми геоїда для території України. Основні прикладні задачі, що вирішуються при цьому: пошук перспективних родовищ корисних копалин, зокрема вуглеводнів (це особливо актуально для нашої країни); моніторинг явищ, які є провісниками техногенних катастроф; розрахунок траєкторій польотів штучних супутників Землі в інтересах розвитку глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) та ін. Для вирішення цих завдань точність вимірювання прискорення вільного падіння в будь-якій точці Землі повинна бути в межах 0,001-0,1 мГал. На сьогодні, коли в основному завершені роботи зі створення національних опорних гравіметричних мереж майже у всіх країнах Європи, стоїть завдання щодо об'єднання їх у єдину світову систему.

Національні гравіметричні мережі поділяють на різні класи, які створюють послідовно. При операційному значенні прискорення вільного падіння на пунктах вищих класів їх вважають твердими (незмінними) для пунктів нижчих класів. Перевага такої схеми полягає в тому, що гравіметричні дані використовують до завершення останнього етапу згущення мережі. Середні відстані між пунктами опорних мереж значною мірою залежать від розмірів території країни. Так, наразі при побудові гравіметричних мереж у розвинутих країнах для *фундаментальної гравіметричної мережі 1 класу* – кілька десятків кілометрів, *2 класу* – близько 10 км і *3 класу* – кілька кілометрів.

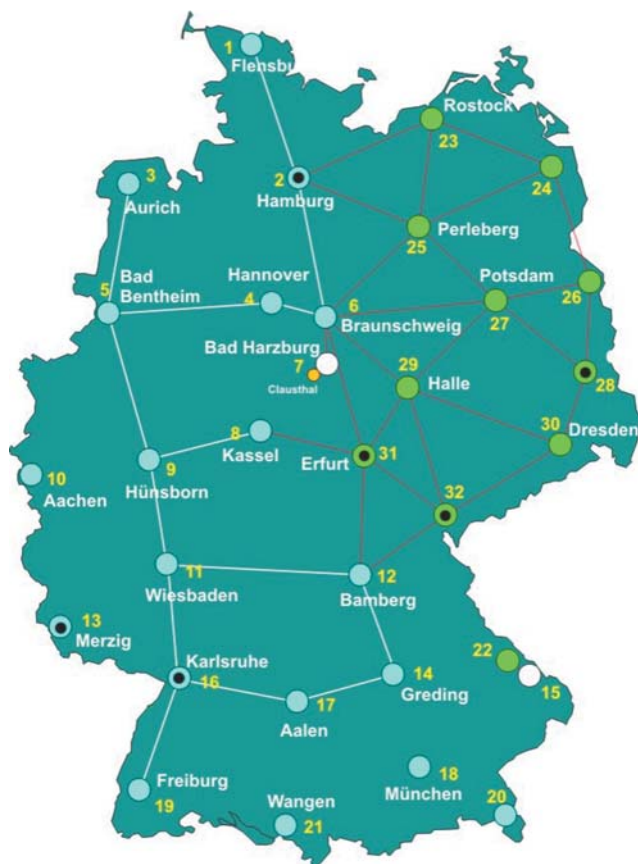
Відповідно до міжнародних стандартів, встановлених Міжнародною гравіметричною комісією Міжнародної геодезичної асоціації (IGC IAG), національні гравіметричні системи будують кількох рівнів [6]. Основою гравіметричного забезпечення території держави є фундаментальна мережа. Вона складається з рівномірно розташованих станцій з рекомендованою густиною – одна станція на 15 000 км<sup>2</sup>. Прискорення вільного падіння на пунктах фундаментальної гравіметричної мережі має визначатися винятково абсолютним методом із застосуванням сучасних балістичних гравіметрів. Нижчим класом гравіметричної системи дер-

жави є базова мережа. Її утворюють пункти як абсолютних, так і відносних гравіметричних вимірювань, причому густина пунктів базової мережі (включно з фундаментальними пунктами) має становити не менше, ніж один пункт на 2 500 км<sup>2</sup>. Місцезнаходження пунктів повинне забезпечувати їх довготривале збереження, стабільність координат та відповідні умови для спостережень. Пункти фундаментальної мережі слід розміщувати у підвалах та на цокольних приміщеннях громадських будівель.

**Постановка завдання.** В Україні залишаються невирішеними такі важливі проблеми, як невідповідність гравіметричної мережі сучасним вимогам ні за якістю, ні за щільністю пунктів; інтегрування пунктів вітчизняної мережі в світову; розвиток головної висотної основи та ув'язування державної нівелірної мережі з нівелірними мережами сусідніх країн у рамках європейських проектів; побудова моделі квазігеоїда для території нашої країни сантиметрової точності [1, 2, 4].

**Аналіз стану гравіметричних мереж у Німеччині та Польщі.** Перед тим як аналізувати сучасний стан гравіметричної мережі України, наведемо короткі відомості про розвиток гравіметричних систем у таких європейських державах, як Федеративна Республіка Німеччина та Республіка Польща. Ці країни співрозмірні з Україною за територією (площа України – 603,7 тис. км<sup>2</sup>, Німеччини – 357,0 тис. км<sup>2</sup>, Польщі – 312,7 тис. км<sup>2</sup>) та схожі за природними умовами (переважно рівнинні), тому і стратегія побудови національних гравіметричних мереж у них має бути подібною.

Німецьку фундаментальну гравіметричну мережу DSGN94 було створено в 1994 р. шляхом повторних вимірювань мережі ФРН 1976 р. (DSGN76) та поширенням її на територію колишньої НДР. Наразі мережа охоплює 30 станцій, у т. ч. 19 пунктів мережі DSGN76 та 10 станцій, заново закладених на східних територіях (мал. 1). Якщо мережа DSGN76 будувалася відповідно до приладово-технічних умов 1970-х років за результатами відносних вимірювань з абсолютними визначеннями прискорення вільного падіння в чотирьох пунктах (для визначення вихідного рівня та масштабу мережі), то мережа DSGN94 повністю базувалася на абсолютних вимірюваннях гравіметром AXIS FG5-101 Інституту прикладної геодезії на всіх станціях та додаткових вимірюваннях абсолютним гравіметром JILAG-3 Інституту геодезії університету Ганновера на шести станціях. Відносні гравіметричні вимірювання



Мал. 1. Німецька фундаментальна гравіметрична мережа DSGN94 [7]



Мал. 2. Пункти DHHN, на яких визначено абсолютні показники прискорення вільного падіння в рамках оновлення цієї мережі [7]

проводилися між новоствореними пунктами фундаментальної гравіметричної мережі на території Східної Німеччини, а також між пунктами старої частини мережі, на яких було виявлено зміни значень прискорення вільного падіння відносно мережі DSGN76 понад  $0,1 \text{ мкм}\cdot\text{с}^{-2}$  (10 мкГал) [7]. Дані цих вимірювань слугували для контролю абсолютних вимірів.

З 2009 по 2011 р. у рамках оновлення німецької висотної системи (DHHN) проводилися абсолютні вимірювання двома польовими (транспортабельними) абсолютними гравіметрами А10 на 100 станціях нівелірної мережі. Проект "DHHN-Erneuerung 2006-2011" включає GNSS-вимірювання близько 250-ти здебільшого новостворених пунктів, повторне високоточне нівелювання на близько 80 % ліній нівелювання DHHN92 та абсолютні вимірювання прискорення вільного падіння на 100 (з 250-ти) пунктах (мал. 2). На абсолютних станціях також було виконано відносні вимірювання для визначення вертикального градієнта прискорення вільного падіння.

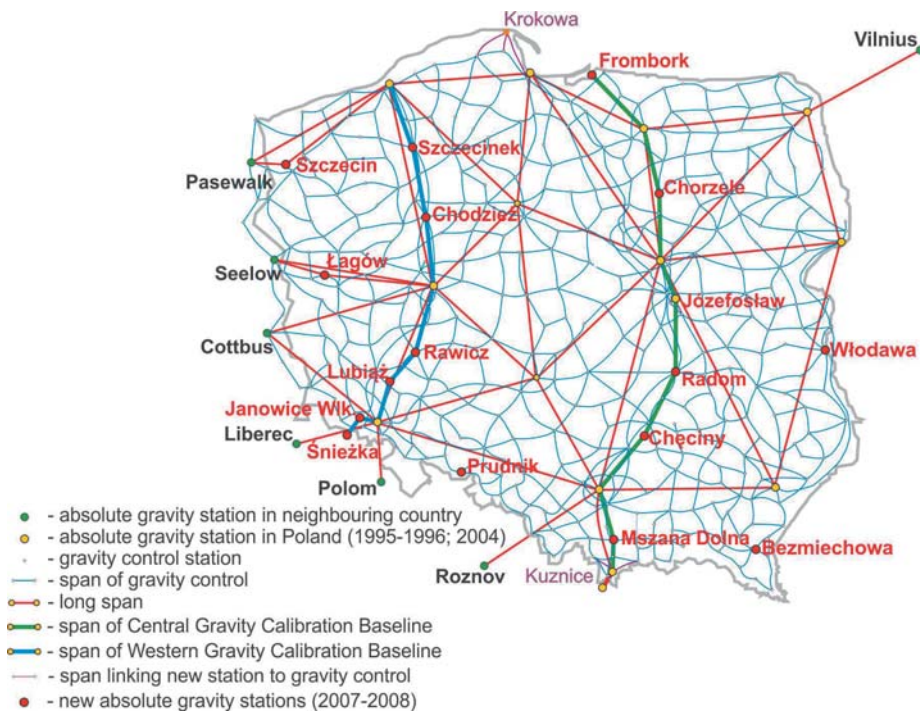
Наявну гравіметричну мережу Польщі (POGK) створено в 1994-1997-му роках. Спочатку вона охоплювала 12 абсолютних фундаментальних станцій (1 пункт на  $26\,000 \text{ км}^2$ ; мал. 3), які було визначено чотирма різними типами абсолютних гравіметрів (FG5, JILAg, IMGC і ZZG). Відносні вимірювання на 363-х пунктах (1 пункт на  $870 \text{ км}^2$ ) виконувались різними групами з використанням гравімет-

рів LaCoste&Romberg (LCR). Крім того, для перевірки узгодженості абсолютних вимірювань було створено мережу з 24-х відносних гравіметричних зв'язків між абсолютними станціями [9].

Системну модернізацію польської гравіметричної мережі розпочали у 1999 році. За рік було визначено 20 нових абсолютних пунктів для згущення фундаментальної гравіметричної основи, доповнено її двома меридіональними калібрувальними базисами, а також встановлено 13 нових гравіметричних зв'язків між абсолютними станціями Польщі та сусідніх держав (Німеччини, Чехії та Литви).

У 2011 р. розроблено проект нової гравіметричної мережі Польщі, затверджений на початку 2012 року Головним управлінням геодезії і картографії (GUGiK) [8]. Запроєктована мережа складатиметься з 28-ми фундаментальних пунктів, на яких проводитимуться абсолютні спостереження гравіметром FG5, і 169-ти базових пунктів (спостереження польовим абсолютним гравіметром А10; густота пунктів – 1 на  $2\,000 \text{ км}^2$ ; мал. 4). Фундаментальні станції будуть облаштовані у місцях розташування наявних станцій абсолютних вимірювань.

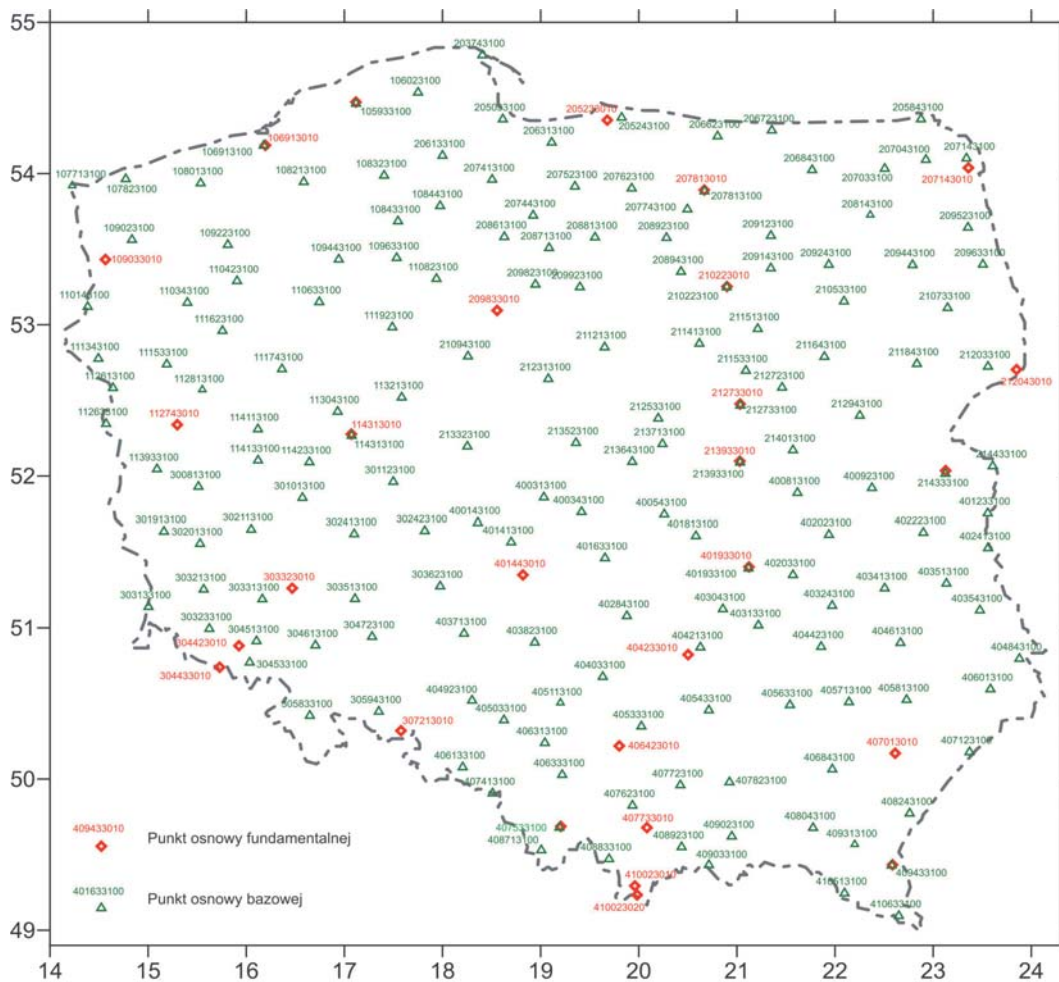
Нова гравіметрична система Польщі вже не буде мережею в класичному розумінні цього терміна, оскільки не планується встановлення статичними гравіметрами зв'язків між станціями (як фундаментальними, так і базовими), за винятком



Мал. 3. Сучасна гравіметрична мережа Польщі (POGK) [8]

прив'язки пунктів-спутників. Похибка визначення прискорення вільного падіння не повинна перевищувати 0,004 мГал на фундаментальних станціях і 0,010 мГал на базових.

**Виклад основного матеріалу.** Наявна на сьогодні Державна гравіметрична мережа (ДГМ) України складається з 18-ти основних гравіметричних пунктів і 37-ми пунктів-спутників. Вона є частиною Державної гравіметричної мережі 1-го класу (ДГМ-1) колишнього Радянського Союзу [2, 5]. ДГМ-1 побудовано як полігональну систему, яка спиралася (в межах СРСР) на три фундаментальні пункти (Москва, Новосибірськ, Ташкент), які в свою чергу мали прямий зв'язок з гравіметричним пунктом у м. Потсдам (Німеччина). У 1982 р. було виконано абсолютні вимірювання на пункті Полтава



Мал. 4. Нова гравіметрична мережа Польщі [8]



балістичним гравіметром ГАБЛ. Основний обсяг гравіметричних вимірювань на пунктах 1 класу виконано маятниковим комплексом "Агат", а вимірювання на пунктах-супутниках – гравіметрами типу ГАГ-2 і ГНУ-КВ. Після врівноваження полігонів гравіметричної мережі середня квадратична похибка (СКП) значень прискорення вільного падіння на пунктах склала  $\pm 0,032$  мГал.

Державна опорна гравіметрична мережа 2 класу в Україні формувалася в декілька етапів – у 1962, 1969, 1986-1987-му роках. Станом на 01.01.1988 р. країна була охоплена гравіметричною мережею, яка складалася із 126-ти пунктів 2 класу (СКП  $\pm 0,035$  мГал), зі щільністю 1 пункт на 1 планшет масштабу 1:200 000. У 2003-2005 рр. проводилося обстеження мережі 2 класу. Пункти, що не збереглися (17 пунктів), було перезакріплено, і на них було передано значення прискорення вільного падіння із суміжних пунктів за допомогою групи гравіметрів ГНУ-КВ із СКП 0,02 мГал.

У 1993 р. завершено роботи з урівноваження гравіметричної мережі опорними гравіметричними пунктами 3 класу. Нею було охоплено всю територію країни. Всього було визначено 3760 пунктів. Середня відстань між ними становила 15 км. Урівноваження виконувалось за полігональною системою за схемою А-Б-А' групою із чотирьох гравіметрів типу ГНУ-КВ у два незалежних рейси. СКП врівноважених значень прискорення вільного падіння на пунктах становила  $\pm 0,03$  мГал.

Як бачимо, гравіметрична мережа України створювалася з використанням відносних маятникових і статичних приладів без достатньої кількості фундаментальних абсолютних гравіметричних пунктів. Це пояснюється відсутністю на час побудови мережі транспортбельних абсолютних гравіметрів. Наразі маємо різні моделі як стаціонарних, так і польових балістичних гравіметрів, зручних у транспортуванні, що дозволяють отримувати значення прискорення вільного падіння на станціях за порівняно короткі проміжки часу (декілька годин) і з необхідною точністю (кілька мікрогал для стаціонарних та до 10 мкГал – для польових гравіметрів). Це створює можливості для застосування абсолютних гравіметрів при формуванні фундаментальних гравіметричних мереж достатньої щільності для рівномірного покриття території держави пунктами з визначеними з високою точністю (5-10 мкГал) абсолютними значеннями прискорення вільного падіння. На сьогодні найбільш використовуваними у світі є комерційні моделі прецизійних абсолютних гравіметрів FG5 та польових гравіметрів А10 виробництва MicroG-LaCoste (США).

Програмою розвитку ДГМ України було перед-

бачено 15 фундаментальних гравіметричних пунктів. Однак така кількість все ж недостатня для створення сучасної гравіметричної мережі, оскільки в такому разі її щільність становить лише 1 пункт на 40 000 км<sup>2</sup> (при бажаній густоті 1 пункт на 15 000 км<sup>2</sup>). Для порівняння слід зазначити, що густина фундаментальних гравіметричних пунктів у Німеччині та Польщі (у проєктованій мережі) становить 1 пункт на 12 000 та 11 000 км<sup>2</sup> відповідно. Виходячи з вимог IGS, гравіметрична мережа України повинна складатися щонайменше із 40-ка фундаментальних та 200-от базових пунктів. Пункти фундаментальної мережі доцільно розташовувати на наявних гравіметричних пунктах 1 класу, в будівлях астрономічних обсерваторій, в інших капітальних спорудах, розрахованих на тривалу експлуатацію, при перманентних станціях Української постійно діючої мережі спостережень ГНСС (УПМ ГНСС). Для базових станцій можна використати існуючі пункти гравіметричної мережі 1-3 класів, а також планової та висотної основ.

Для кожного фундаментального гравіметричного пункту необхідно визначити не менше чотирьох пунктів-супутників, розташованих уздовж широтного та довготного напрямків на відстані до 50 км. На них передати значення прискорення вільного падіння з використанням відносних статичних гравіметрів. Як пункти-супутники можна також використовувати розташовані поблизу фундаментальної станції пункти 1-го та нижчих класів.

При створенні нової гравіметричної системи України на пунктах гравіметричних мереж слід визначити прискорення вільного падіння з відповідною точністю та із застосуванням сучасних приладів. Так, для фундаментальної мережі абсолютне значення прискорення вільного падіння має визначатись балістичними гравіметрами з похибкою до 5 мкГал. При використанні статичних гравіметрів для побудови мереж 1, 2 та 3 класів значення прискорення вільного падіння передається з похибкою до 10 мкГал відносно пунктів мережі вищого класу.

Отже, для того щоб опорна гравіметрична мережа України відповідала сучасним вимогам щодо гравіметричного забезпечення виконання завдань геодезії, геології та геофізики, параметрам аналогічних мереж провідних європейських країн та вимогам Міжнародної геодезичної асоціації, вона має відповідати критеріям щільності пунктів, а також не перевищувати похибок визначення прискорення вільного падіння, наведених у таблиці. Щільність пунктів кожного класу мережі у таблиці наведено з урахуванням пунктів мереж вищих класів.

#### Характеристики наявної та проєктованої відповідно до сучасних вимог гравіметричної системи України

Клас мережі	Наявна мережа			Вимоги до модернізованої мережі		
	Кількість пунктів	Точність визначення $g$ , мкГал	Щільність мережі (1 пункт/км <sup>2</sup> )	Кількість пунктів	Точність визначення $g$ , мкГал	Щільність мережі (1 пункт/км <sup>2</sup> )
Фундаментальна		–		40	5	15 000
1 клас	18	30	33 500	200	10	2500
2 клас	126	35	4 200	5800	10	100
3 клас	3760	30	155	6000	15	50



**Висновки.** На підставі вищевикладеного можна зробити такі висновки:

1. Необхідно вдосконалити проект модернізації гравіметричної системи України з врахуванням сучасних вимог та досвіду європейських країн.

2. Виконати абсолютні вимірювання прискорення вільного падіння сучасними балістичними гравіметрами на запроєктованих фундаментальних гравіметричних пунктах.

3. Заново створити опорні гравіметричні мережі 1, 2 й 3 класів з використанням абсолютних транспортних гравіметрів типу А10 та високоточних статичних гравіметрів LaCoste&Romberg чи відповідних їм за точністю.

4. Роботи зі створення нового гравіметричного забезпечення країни повинні виконуватися в якнайкоротші терміни геодезичними підприємствами Державного агентства земельних ресурсів України.

5. Для виконання цих робіт вкрай необхідним є забезпечення належного державного фінансування.

#### Література

1. *Бондар, А.Л.* Стан та основні напрями розвитку Державної геодезичної мережі України / А.Л. Бондар, І.М. Заєць, О.В. Кучер // Вісн. геодез. та картогр. – 2001. – № 3. – С. 17-23.

2. *Двуліт, П.Д.* Гравіметрична мережа України: сучасний стан і перспективи розвитку / П.Д. Двуліт // Геодина-

міка. – 2009. – № 1. – С. 44-46.

3. *Двуліт, П.Д.* Розвиток Державної гравіметричної мережі України як пріоритетна складова програм із проблем мінерально-сировинного забезпечення країни / П.Д. Двуліт, В.А. Енгін, О.В. Кучер // Мінеральні ресурси України. – 2010. – № 2. – С. 5-6.

4. *Двуліт, П.Д.* Основні напрями розвитку гравіметричної мережі України / П.Д. Двуліт, О.В. Кучер // Вісн. геодез. та картогр. – 2009. – № 6. – С. 11-13.

5. *Сидоренко, Г.С.* Проблеми досягнення високої точності вимірів при побудові гравіметричної мережі / Г.С. Сидоренко, О.М. Мірошніченко, О.В. Кучер, І.М. Заєць // Вісн. геодез. та картогр. – 2006. – № 5. – С. 10-16.

6. *Boedecker, G.* International Absolute Gravity Basestation Network (IAGBN) / G. Boedecker // Absolute Gravity Observations Data Processing Standards and Station Documentation. BGI Bull. d'Inf. – 1988. – 63. – P. 51-56.

7. *Krynski, J.* New gravity control in Poland – needs, the concept and the design / J. Krynski, T. Olszak, M. Barlik, P. Dykowski // Geodesy and cartography. – 2013. – Vol. 62. № 1. – P. 3-21.

8. *Pachuta, A.* Absolutne pomiary grawimetryczne w Polsce / A. Pachuta, M. Barlik, T. Olszak [та inne] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2009. – Вип. I. – С. 74-78.

#### Інтернет-джерело

9. *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie / Deutsches Schwerereferenzsystem.* – <http://bkg.bund.de/>

Надійшла 05.11.13

\* \* \*

УДК 528.48

Б. Є. Монюк

### ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ТРЕКЕРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХОНЬ АНТЕН РАДІОТЕЛЕСКОПІВ

*Предложена и теоретически обоснована методика исследования геометрических параметров поверхностей антенн радиотелескопов лазерным трекером (на примере РТ-22). Теоретически доказана возможность достижения высокой точности определения пространственных координат точек на поверхности антенн радиотелескопов в отличие от других геодезических методов.*

*Method of study of geometric parameters of surfaces of radio-telescope antennas by a laser tracker on the example of the RT-22 is proposed and theoretically grounded. Theoretically proved is ability to achieve high definition accuracy of the spatial coordinates of points on the surface of the antennas of radio-telescopes in comparison to other geodetic methods.*

**Постановка проблеми.** Визначення геометричних параметрів поверхонь антен радіотелескопів з максимально можливою точністю необхідне для виявлення їх придатності для проведення певних астрофізичних та астрометричних експериментів, прийняття рішень про подальшу їх безпечну експлуатацію та уточнення моделі наведення радіотелескопа на небесні світила і штучні супутники Землі.

Основний метод при цьому – геодезичний. Тра-

диційні методи (високоточні вимірювання електронним тахеометром у режимі без відбивача [2, 3], лазерне сканування, прецизійне нівелювання [1]) не забезпечують достатньої точності вимірювань.

Поява сучасних високоточних приладів – лазерних трекерів відкрила нові можливості, але разом з тим це викликало необхідність удосконалення самих методів вимірювань та оброблення їх результатів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються даної проблеми.** За кордоном ефективно застосовують трекер для високоточних

© Б. Є. Монюк, 2013