



Висновки. На завершення зазначимо, що для отримання кінцевого результату (мал. 7) було побудовано проміжне рішення, в якому не взято до уваги гравіметричні пункти мереж 1 і 2 класів, а лише використано їх як контрольні точки. Стандартне відхилення між контрольними даними та цим проміжним розв'язком становило $\pm 1,7$ мГал, що, мабуть, відповідає точності вихідних аномалій Буге, вказаних у наборі № 1. Використання ж методу середньої квадратичної колокації з включенням на останньому етапі наборів даних № 8 і № 9, які мають менші, порівняно з іншими даними, середні квадратичні похибки, дають можливість отримати значно кращі результати узгодження, які подано в табл. 2. Незважаючи на це, ми осмілюємось оцінити отриманий розв'язок аномалій Буге на рівномірній сітці з середньою похибкою 1-2 мГал, яка покращується вздовж ліній нівелювання та пунктів Державної гравіметричної мережі, як це показано на мал. 4 і 5 та в табл. 2.

Література

1. Марченко, О. М. Результати побудови квазігеоїда УКГ2006 для регіону України [Текст] / О.М. Марченко, О.В. Кучер, О.В. Ренкевич // Вісн. геодез. та картогр. – 2007. – № 2. – С. 3-13.
2. Марченко, О.М. Про двовимірну інтерполяцію трансформант гравітаційного поля модифікованим сплайном Ерміта [Текст] / О.М. Марченко, О.С. Заяць, М.Р. Ничвйд // Вісн. геодез. та картогр. – 2005. – № 4. – С. 6-10.
3. Марченко, О.М. Побудова гравіметричного квазігеоїда на регіон Молдови методом швидкого перетворення Фур'є [Текст] / О.М. Марченко, О.Є. Янчук // Вісн. геодез. та картогр. – 2008. – № 6. – С. 7-10.
4. Марченко, О.М. Визначення середніх рівнів Балтійського і Чорного морів та їх змін у часі [Текст] / О.М. Марченко, Н. П. Ярема // Вісн. геодез. та картогр. – 2006. – № 6. – С. 2-9.
5. Молоденский, М.С. Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли [Текст] / М. С. Молоденский, В.Ф. Еремеев, М.И. Юркина. – Тр. ЦНИИГАиК. – М., 1960. – Вып. 131. – 251 с.
6. Augath, W. EVS 2000 – Status and requirements [Text] / W. Augath, J. Adam, C. Boucher [et al.] // IAG/EUREF Publication. – Munchen, 2000. – № 9. – P. 96-98.
7. Denker, H. The Development of the European Gravimetric Geoid Model EGG07 [Text] / H. Denker, J.-P. Barriot, R. Barzaghi [et al.] // In: M.G. Sideris (ed.), Observing our Changing Earth, International Association of Geodesy, Symposia 133. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. – P. 177-185.
8. Heiskanen, W.A. Physical Geodesy [Text] / W.A. Heiskanen, H. Moritz. – San Francisco: W. H. Freeman & company, 1967. – 364 p.
9. Ihde, J. The Height Solution of the European Vertical Reference Network (EUVN) [Text] / J. Ihde, J. Adam, W. Gurtner, B.G. Harsson // Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodatische Arbeiten. – München, Heft Nr. 61 (IAG/EUREF Publication, № 9. 2000. – P. 132-145.
10. Ihde, J. The Vertical Reference System for Europe [Text] / J. Ihde, W. Augath // IAG/EUREF Publication. – München, 2000. – № 9. – P. 99-115.
11. Marchenko, A. A classification of reproducing kernels according to their functional and physical significance [Text] / A. Marchenko, D. Lelgemann // IGeS Bulletin. – Milan, 1998. – № 8. – P. 49-52.
12. Marchenko, A. On the quasigeoid solutions for the Ukraine and Moldova area. [Text] / A. Marchenko, O. Kucher // Paper presented at the EUREF Symposium 2008, Brussels, Belgium, June, 2008.
13. Moritz, H. Advanced physical geodesy. – Karlsruhe: Wichmann, 1980. – 468 p.
14. NIMA WGS84 Update Committee Department of Defense World Geodetic System 1984 Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems // National Imagery and Mapping Agency (NIMA). – Technical report 8350.2. – Third Edition. – 1997. – 171 p.

Інтернет-джерело

15. SRTM-3: <http://srtm.csi.cgiar.org/>

Надійшла 20.12.10

* * *

УДК 528.48

О. М. Самойленко

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ОСІ ОБЕРТАННЯ ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТА ГЕОДЕЗИЧНИМ АВТОКОЛІМАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Описана наиболее общая высокоточная методика измерений и вычислений по МНК пространственной ориентации оси вращения автоколлимационным методом, в основе которого лежит возможность измерять с помощью автоколлимационного теодолита пространственную ориентацию нормали к оптическому плоскому зеркалу, жестко закрепленному на динамическом объекте, при разных его положениях.

The paper deals with the description of the most common high-precision procedure of measurements and calculations by least squares of the attitude of the rotation axis by the autocollimation method. This method makes it possible to measure with autocollimation theodolite the attitude of normal to the optical flat mirror, rigidly fixed on a dynamic object, with its different positions.

Постановка проблеми. Об'єкти матеріального світу, які змінюють у просторі свою форму, поло-

ження чи орієнтацію, називають динамічними. Велику групу динамічних об'єктів складають об'єкти, що мають осі обертання. У практиці трапляються випадки, коли треба з високою точністю

© О. М. Самойленко, 2011



знати просторову орієнтацію таких осей, тобто кут між віссю обертання та прямовисною лінією, а також азимут (дирекційний кут) вертикальної площини, що проходить через вісь. Одним з ефективних високоточних методів визначення просторової орієнтації осі обертання є автоколімаційний метод, який досі застосовується недостатньо.

Зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Запропоновані далі методи вимірювань були покладені в основу розроблених за планами ДП "Укрметрестандарт" методик державної метрологічної атестації та методик повірки стендів регулювання розвалу та сходження коліс автомобілів (далі – стендів).

Аналіз попередніх досліджень та публікацій, присвячених даній проблемі. Автоколімаційний метод застосовувався для випадків передавання (визначення) азимуту в горизонтальній площині [1]. Результати наших досліджень використовувались при розробці методики державної метрологічної атестації та методики повірки стендів [2], а також спеціальних мір площинного кута, призначених для юстування стендів [3]. Публікацій з проблем визначення просторової орієнтації осі обертання об'єкта геодезичним автоколімаційним методом, як для загального, так і для окремих випадків, у спеціальній геодезичній літературі немає.

Невіршені частини загальної проблеми. Не досліджене питання використання геодезичного автоколімаційного методу для досягнення максимальної точності при визначенні орієнтації осі обертання об'єкта відносно невеликого розміру та з мінімальною до нього відстані.

Постановка завдання. Метою даної статті є розроблення методики вимірювань та оброблення їх результатів при визначенні геометричних параметрів осі обертання динамічного об'єкта (її просторової орієнтації) за допомогою автоколімаційного теодоліта, а також строгого (як цього вимагає метод найменших квадратів) оцінювання точності визначення просторової орієнтації.

Виклад основного матеріалу. 1. Вимірювання при визначенні просторової орієнтації осі обертання динамічного об'єкта автоколімаційним методом. Визначення просторової орієнтації осі обертання таких об'єктів автоколімаційним методом проводять, якщо потрібно визначити кути між віссю обертання і координатними осями у заданій системі координат без координатної прив'язки.

Вимірювання виконуються за допомогою автоколімаційного теодоліта й оптичних дзеркал. Найбільш поширені автоколімаційні теодоліти типу Т2 (Т2А, 2Т2А, 3Т2КА). СКП вимірювання кута між прямовисною лінією та нормаллю до поверхні автоколімаційного дзеркала у вертикальній площині та між нормальми до поверхонь двох автоколімаційних дзеркал у горизонтальній площині цими теодолітами не нижче 2".

Прив'язування до осі Z просторової системи координат, яка збігається з прямовисною лінією, здійснюється за допомогою рівня чи компенсатора

при вертикальному крузі автоколімаційного теодоліта. Прив'язування до осей X та Y , що лежать у горизонтальній площині, проводять за допомогою одного чи декількох автоколімаційних дзеркал, азимуту нормалей до поверхонь яких (у проекції на горизонтальну площину) відомі у заданій системі координат. При цьому можуть вирішуватись як окремі задачі з прив'язування до осі Z або осей X та Y , так і сумісна задача з прив'язування до всіх трьох осей.

Для застосування цього методу обов'язкове дотримання таких умов:

- на будь-якій рухомій частині динамічного об'єкта повинна бути забезпечена можливість закріплення як мінімум одного автоколімаційного дзеркала;

- на дзеркало, закріплене на об'єкті, має бути забезпечена можливість вимірювань горизонтальних та вертикальних кутів автоколімаційним теодолітом як мінімум при трьох положеннях дзеркала (зміна положення відбувається поворотом рухомої частини об'єкта довкола осі обертання);

- горизонтальні кути вимірюються відносно нерухомих автоколімаційних дзеркал (чи дзеркала), азимуту (дирекційні кути) нормалей до яких у проекції на горизонтальну площину відомі;

- для досягнення максимальної точності визначення просторової орієнтації осі обертання при однаковій точності автоколімаційних вимірювань потрібно, щоб суміжні кути повороту об'єкта дорівнювали $360^\circ/n$, де n – кількість установлювань об'єкта (наприклад, при трьох установлюваннях кути мають дорівнювати приблизно 120° , а при чотирьох – 90°);

- при вирішенні сумісної задачі з прив'язування до осей X , Y та Z при осі обертання динамічного об'єкта обов'язково необхідно мати кутовимірний відліковий пристрій (щоправда, деякі кути, наприклад, 0 та 180° , можна виставляти і на око).

Автоколімаційний метод дозволяє вимірювати кут нахилу осі обертання у широкому діапазоні. Проте недоліком методу є те, що об'єкт не повинен бути надто великим, бо з автоколімаційним теодолітом краще працювати майже впритул до дзеркала (хоча в окремих випадках можна вимірювати і на відстані до 20 м).

2. Обчислення при визначенні просторової орієнтації осі обертання динамічного об'єкта автоколімаційним методом. Вихідним рівнянням для визначення просторової орієнтації осі обертання є рівняння площини, перпендикулярної до осі обертання:

$$X_i \cos A_F \cdot \sin z_F + Y_i \sin A_F \cdot \sin z_F + Z_i \cos z_F - p = 0. \quad (1)$$

Для того щоб позбутися у цьому виразі лінійних величин, якими є координати X_i , Y_i та Z_i , а залишити тільки кутові, поділимо його на величину p – найкоротшу відстань від початку системи координат до площини. Тоді рівняння площини, перпендикулярної до осі обертання й виражене через напрямні косинуси, матиме вигляд:



$$\sin z_i \cdot \sin z_F \cdot \cos(A_i - A_F) + \cos z_i \cdot \cos z_F - \cos \gamma_F = 0. \quad (2)$$

Визначаються геометричними параметрами просторової орієнтації осі обертання динамічного об'єкта відносно прямої лінії у рівнянні (2) є: A_F – азимут (дирекційний кут) проекції осі обертання об'єкта на горизонтальну площину; z_F – зенітна відстань осі обертання об'єкта; γ_F – постійний кут між віссю обертання об'єкта і перетином поверхні дзеркала у площині, що проходить через вісь обертання об'єкта і яка нормальна до поверхні дзеркала.

Останній параметр характеризує положення автоколімаційного дзеркала відносно осі обертання об'єкта. Він окремих для кожного дзеркала, якщо таких кілька.

Вимірюваними величинами у рівнянні (2) є: A_i – вимірний автоколімаційним теодолітом азимут (дирекційний кут) нормалі до поверхні дзеркала при i -му положенні об'єкта; z_i – виміряна автоколімаційним теодолітом зенітна відстань нормалі до поверхні дзеркала при i -му положенні об'єкта.

Таким чином, у рівнянні (2) фігурують тільки кутові величини – як виміряні, так і визначувані геометричні параметри просторового орієнтування. Таких рівнянь складається стільки, скільки пар вимірювань горизонтальних напрямків і зенітних відстаней виконано. Ясна річ, що таких пар вимірювань повинно бути не менше трьох – за кількістю визначуваних геометричних параметрів просторового орієнтування.

Параметричні рівняння поправок, отримані частковим диференціюванням рівняння (2) за вимірюваними величинами і визначуваними геометричними параметрами, матимуть вигляд:

$$u_i = a_{1i} \cdot v_{z_i} + a_{2i} \cdot v_{A_i} = b_{1i} \cdot \delta_{z_F} + b_{2i} \cdot \delta_{A_F} + b_{3i} \cdot \delta_{\gamma_F} + l_i, \quad (3)$$

де u_i – узагальнені поправки до виміряних величин; a_{1i} , a_{2i} – коефіцієнти параметричного рівняння поправок при виміряних величинах; v_{z_i} , v_{A_i} – поправки до виміряних величин; δ_{z_F} , δ_{A_F} , δ_{γ_F} – поправки до наближених значень визначуваних геометричних параметрів; b_{1i} , b_{2i} , b_{3i} – коефіцієнти параметричного рівняння поправок при визначуваних геометричних параметрах; l_i – вільні члени параметричних рівнянь поправок.

Рівняння (3), яке теж складається для кожної пари спостережень, можна подати і в матричному вигляді:

$$|a_{1i} a_{2i}| \cdot \begin{vmatrix} v_{z_i} \\ v_{A_i} \end{vmatrix} = |b_{1i} b_{2i} b_{3i}| \cdot \begin{vmatrix} \delta_{z_F} \\ \delta_{A_F} \\ \delta_{\gamma_F} \end{vmatrix} + l_i. \quad (4)$$

Коефіцієнти параметричних рівнянь поправок при визначуванні геометричних параметрах обчислюють за формулами

$$\begin{aligned} b_{1i} &= \frac{\partial f}{\partial z_F} = \sin z_i \cdot \cos z_F \cdot \cos(A_i - A_F) + \cos z_i \cdot \sin z_F; \\ b_{2i} &= \frac{\partial f}{\partial A_F} = \sin z_i \cdot \sin z_F \cdot \sin(A_i - A_F); \\ b_{3i} &= \frac{\partial f}{\partial \gamma_F} = \sin \gamma_F. \end{aligned} \quad (5)$$

Коефіцієнти параметричних рівнянь поправок при вимірюваних величинах визначаються з виразів

$$\begin{aligned} a_{1i} &= \frac{\partial f}{\partial z_i} = \cos z_i \cdot \sin z_F \cdot \cos(A_i - A_F) + \sin z_i \cdot \cos z_F; \\ a_{2i} &= \frac{\partial f}{\partial A_i} = \sin z_i \cdot \sin z_F \cdot \sin(A_i - A_F). \end{aligned} \quad (6)$$

Вільні члени рівнянь поправок одержують за формулою

$$l_i = \sin z_i \cdot \sin z_F^0 \cdot \cos(A_i - A_F^0) + \cos z_i \cdot \cos z_F^0 - \cos \gamma_F^0, \quad (7)$$

де z_F^0 , A_F^0 , γ_F^0 – наближені значення визначуваних геометричних параметрів.

Для складання системи нормальних рівнянь вводиться узагальнена поправка до виміряної величини u_i , для якої

$$u_i = |a_{1i} a_{2i}| \cdot \begin{vmatrix} v_{z_i} \\ v_{A_i} \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Зворотна вага цієї величини дорівнює:

$$\begin{aligned} \frac{1}{P_{u_i}} &= Q_{u_i} = |a_{1i} a_{2i}| \cdot \begin{vmatrix} q_{z_i} & 0 \\ 0 & q_{A_i} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} a_{1i} \\ a_{2i} \end{vmatrix} = \\ &= q_{z_i} \cdot a_{1i}^2 + q_{A_i} \cdot a_{2i}^2, \end{aligned} \quad (9)$$

де $q_{z_i} = \sigma_{z_i}^2$ – зворотна вага виміряної зенітної відстані; $q_{A_i} = \sigma_{A_i}^2$ – зворотна вага виміряного азимута; σ_{z_i} – СКП зенітної відстані; σ_{A_i} – СКП виміряного азимута.

Матрицю нормальних рівнянь N та вільний член нормальних рівнянь L одержують додаванням окремих матриць, що складаються для кожної пари виміряних величин.

Після вирішення нормальних рівнянь поправки до виміряних величин обчислюють за формулами

$$v_{z_i} = q_{z_i} \cdot a_{1i} \cdot P_{u_i} \cdot u_i; \quad v_{A_i} = q_{A_i} \cdot a_{2i} \cdot P_{u_i} \cdot u_i. \quad (10)$$

Оцінку СКП одиниці ваги σ_u знаходять із формули

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_{u_i} \cdot u_i^2}{n-k}}. \quad (11)$$

СКП визначуваних параметрів обчислюють з виразів

$$\sigma_{z_F} = \sigma_u \sqrt{Q_{11}}; \quad \sigma_{A_F} = \sigma_u \sqrt{Q_{22}}; \quad \sigma_{\gamma_F} = \sigma_u \sqrt{Q_{33}}, \quad (12)$$

де Q_{11} , Q_{22} , Q_{33} – діагональні члени оберненої матриці до матриці нормальних рівнянь N .

Висновки та перспективи досліджень. 1. Розроблено геодезичний автоколімаційний метод, який при певних умовах дозволяє визначити просторову орієнтацію осі обертання будь-якого невеликого за розмірами динамічного об'єкта, на якому можна закріпити автоколімаційне дзеркало, з похибкою, що не перевищує похибки вимірювання автоколімаційним теодолітом.

2. Дана методика оброблення результатів вимірювань геодезичним автоколімаційним методом з використанням методу найменших квадратів дозволяє для будь-якої загальної схеми вимірювань визначити



просторову орієнтацію осі обертання довільно орієнтованого динамічного об'єкта та оцінити її точність.

У майбутньому необхідно дослідити використання геодезичного автоколімаційного методу для визначення просторової орієнтації конкретних динамічних об'єктів.

Література

1. Боровой, В.А. Высоточные инженерно-геодезические работы при строительстве и эксплуатации инже-

нерных сооружений: учебное пособие / В. А. Боровой, В. Г. Бурачек, С. П. Войтенко, И. Е. Субботин. – К.: УМК ВО, 1990. – 124 с.

2. Самойленко, О.М. МПУ 050/01-2003. Метрологія. Стенди регулювання розвалу і сходження коліс автомобілів комп'ютеризовані. Методика повірки. – К.: Вид-во ДП "Укрметртестстандарт". – 2003. – 13 с.

3. Самойленко, О.М. МПУ 099/01-2003. Метрологія. Міри кутові спеціальні для контролю метрологічних характеристик комп'ютеризованих стендів регулювання розвалу і сходження коліс автомобілів. Методика повірки. – К.: Вид-во ДП "Укрметртестстандарт". – 2003. – 10 с.

Надійшла 20.12.10

* * *

КАЛЕНДАР ПОДІЙ

Назва заходу	Дата і місце проведення	Веб-сайт
Конференція "GEO-2011"	6-7 квітня 2011 р., м. Лондон (Велика Британія)	http://www.pvpubs.com/events.php
4-та Спеціалізована міжнародна виставка-салон "Неогеографія XXI – 2011"	18-21 квітня 2011 р., м. Москва (Росія)	http://www.vt21.ru/news_geo.php
16-та Міжнародна науково-технічна конференція "ГЕОФОРУМ-2011"	27-29 квітня 2011 р., Яворівський полігон, Львівська обл.	http://www.lp.edu.ua/Geoforum
26-та сесія Групи експертів ООН з географічних назв	2-6 травня 2011 р., м. Відень (Австрія)	http://unstats.un.org/unsd/geoinfo/UNGEGN/ungegnSession26.html
X Міжнародна конференція "Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти"	10-13 травня 2011 р., м. Київ	http://www.eage.org/files/first_announcement_kyiv2011_ua.pdf
Міжнародна виставка "Навітех-Експо-2011"	1-3 червня 2011 р., м. Москва (Росія)	http://www.navitech-expo.ru/ru/
Всеукраїнський семінар "Розвиток тематичної складової інфраструктури просторових даних в Україні"	17 червня 2011 р., м. Київ	http://www.igu.org.ua/page/news/News_ukr.htm
XXV Генеральна асамблея Міжнародного геодезичного та геофізичного союзу (IUGG)	28 червня – 1 липня 2011 р. м. Мельбурн (Австралія)	http://www.iugg2011.com/
25-та Міжнародна картографічна конференція та 15-та Генеральна асамблея Міжнародної картографічної асоціації	3-8 липня 2011 р., м. Париж (Франція)	http://www.icc2011.fr
XXIV Міжнародна конференція з історії картографії	10-15 липня 2011 р., м. Москва (Росія)	http://www.ichc2011.ru/
XX Міжнародний науково-методичний семінар "Сучасні проблеми безперервної географічної освіти і картографії"	12-16 вересня 2011 р., м. Харків	тел. (057) 707-54-79, 707-55-60, 707-53-60
XXV Всепольська конференція з історії картографії	15-17 вересня 2011 р., м. Познань (Польща)	http://www.kartografia.amu.edu.pl
INTERGEO-2011	27-29 вересня 2011 р. м. Нюрнберг (Німеччина)	http://www.intergeo.de/en/englisch/index.php
Франкфуртський книжковий ярмарок	12-16 жовтня 2011 р., м. Франкфурт-на-Майні (Німеччина)	http://www.buchmesse.de