



[Текст] / М.В. Галарник, Г.И. Квятковский; Ивано-Франковский ин-т нефти и газа. – Ивано-Франковск, 1993. – 6 с.: Библиогр. 2 назв. – Деп. в ГНТБ України 01.11.93, № 2161- Ук 93.

5. *Голедухин, М.А.* Отыскание утерянных центров с использованием привязки [Текст] / М.А. Голедухин, С.В. Крюков; Перм. политехн. ин-т. – Пермь, 1983. – 6 с.: ил. – Библиогр. 10 назв. – Деп. в ВИНТИ 20.04.83, № 2105 – 83.

6. *Грицюк, Т.Ю.* До питання оцінки точності вимірювання перевищень методом GPS [Текст] / Т.Ю. Грицюк, К.Р. Третяк // Геодез., картограф. та аерофотознім. – 2007. – Вип. 69. – С. 78-82.

7. *Інструкція* з обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі України // Топографо-геодезична та картографічна діяльність. Законодавчі та нормативні акти: в 2 ч. [Текст] / Вінниця: Антекс, 2000. – Ч. 1. – С. 294-319.

8. *Інструкція* з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 [Текст]. – К.: Гол. упр. геодезії, картографії та кадастру України. – 1999. – 155 с.

9. *Інструкція* про типи центрів геодезичних пунктів (ГКНТА-2.01,02-01-93) [Текст]. – Затв. нак. Гол. упр. геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 19 травня 1993 р. № 23.

10. *Інструкція* по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 [Текст] / ГУГК. – М.: Недра, 1982. – 160 с.

11. *Інструкція* по составлению кроков геодезических пунктов [Текст]. – 4-е изд. – М.: Геодезиздат, 1952. – 16 с.

12. *Інструкція* о построении государственной геодезической сети СССР [Текст]. – М.: Недра, 1966. – 341 с.

13. *Котюх, А.А.* Отыскание на местности утерянных центров геодезических знаков [Текст] / А.А. Котюх // Геодезическое обслуживание народного хозяйства в Северном Казахстане и Поволжье. – М.: Недра, 1982. – С. 66-71.

14. *Основні положення* створення Державної геодезичної мережі України: Пост. Кабінету Міністрів України № 844 від 8.06.1998. – 15 с.

Надійшла 01.02.12

* * *

УДК 528.48

І. С. Сідоров, К. Р. Третяк

СУМІСНЕ ОПРАЦЮВАННЯ СУПУТНИКОВИХ І НАЗЕМНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРІВ ВИСОКОТОЧНОЇ МЕРЕЖІ БУДІВНИЦТВА ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС

В результате совместной обработки высокоточных спутниковых и наземных геодезических измерений разработана методика уравнивания геодезической сети Днестровской ГАЭС с учетом весов измерений.

The methodology of adjustment of the geodetic network of Dnistrovskya Hydroelectric Pumped Storage Power Station has been developed using results of cooperative processing of high-precision satellite and ground-based geodetic measurements and considering measurement weights.

Постановка проблеми. При спорудженні великих гідроенергетичних об'єктів важливе значення має точність побудови і стійкість планово-висотної геодезичної мережі. Це має забезпечити задані параметри монтажу окремих будівельних конструкцій та елементів технологічного устаткування, а в подальшому такої точності й стабільності необхідно дотримуватись при спостереженні за деформаціями. З цією метою на об'єктах створюють спеціальну геодезичну мережу. В останні роки при створенні таких мереж дедалі ширше застосовується супутниковий метод.

При визначенні просторових геодезичних координат X , Y , Z пунктів мережі гравітаційне поле не впливає на результати вимірювань. Однак повністю охопити всю територію об'єкта ГНСС-спостереженнями неможливо. Насамперед це пов'язано з реальною відкритістю горизонту при виконанні спостережень, що в умовах будівельного майданчика не завжди забезпечується. Тому при монтажі технологічного обладнання та спостереженні за деформаціями інженерних споруд переважає застосування наземних геодезичних методів.

Геодезичні вимірювання виконуються прецизійними електронними тахеометрами, які встановлюються над пунктом прямою, отже, на них впливає гравітаційне поле місця робіт.

Для сумісного урівноваження супутникових та наземних вимірів необхідно враховувати складові відхилення прямої лінії ξ , η в районі будівництва.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. У праці [1] вказується, що при визначенні взаємного положення проектних точок з точністю 10^{-6} і вище необхідно враховувати аномалії гравітаційного поля. При центруванні геодезичних приладів, вимірюваннях горизонтальних і вертикальних кутів необхідно враховувати форму рівневої поверхні та її розташування відносно координатних осей. Градієнт прискорення сили тяжіння у рівнинних районах становить $5 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-2}$, а в гірських – на порядок більше. Можна вважати, що кут Δv між прямовисними лініями, які розташовані на відстані S одна від одної, дорівнює GS/g .

У рівнинних місцевостях на 3-кілометровій відстані зміна відхилення прямовисних ліній становить $0,7''$, а в гірських досягає $2,0''$. Дуже важливо редукувати виміри на умовну поверхню, яка закріплена на місцевості опорними точками.

© *І. С. Сідоров, К. Р. Третяк, 2012*



У праці [5] обґрунтовується необхідність врахування відхилення прямокутних ліній при редуванні горизонтальних та вертикальних кутів на поверхню еліпсоїда, врівноваженні супутникових та наземних вимірювань, перетворенні еліпсоїдальних висот пунктів до нормальних, пошуку корисних копалин геофізичними методами. У ній зроблено попередній розрахунок точності визначення відхилення прямокутних ліній при заданій точності геометрії геодезичних висот початкового та кінцевого пунктів і відстані між ними. За результатами GPS-нівелювання на мережі з 15-ти пунктів на площі 15 км² визначено відхилення прямокутних ліній з точністю 0,7".

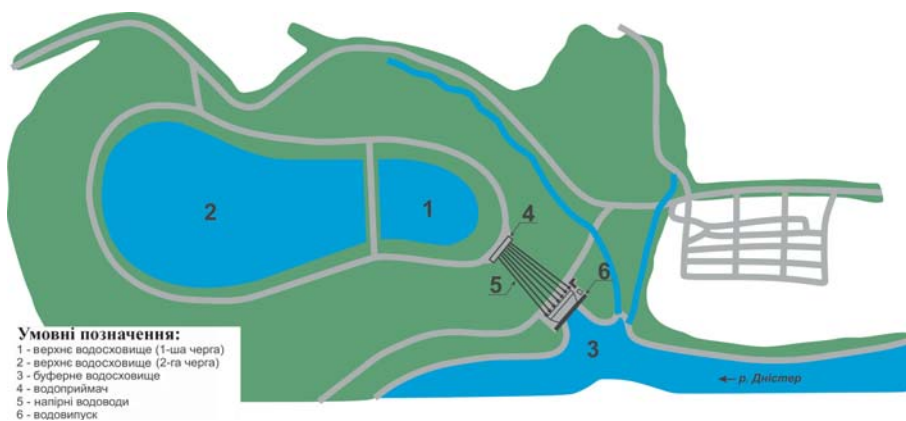
У публікації [6] при описі геодезичних робіт на промайданчиках вказано на необхідність узгодження двох поверхонь: референц-еліпсоїда та геоїда в ході супутникових і наземних вимірювань. Наводиться модель геоїда, яка найбільше підходить для конкретної території.

Постановка завдання. Для визначення напружень на території будівництва, в інженерних спорудах і на технологічне обладнання застосовують ГНСС-технології. При виконанні ГНСС-вимірювань необхідно перейти до поверхні напружень, яка перпендикулярна до силових ліній гравітаційного поля. Для цього слід знати величину відхилення прямокутних ліній в районі виконання робіт.

У ході сумісного опрацювання супутникових та наземних вимірів потрібно визначити координати пунктів геодезичної мережі в районі будівництва Дністровської ГАЕС з врахуванням ваг вимірів та оцінити її стійкість.

Виклад основного матеріалу досліджень. На р. Дністер, біля м. Новодністровськ Чернівецької обл., будується найпотужніша гідроакмулювальна електростанція в Європі – Дністровська ГАЕС. Її проектна потужність в генерувальному режимі становить 2 268 МВт (сім гідроагрегатів по 324 МВт). Схему станції зображено на мал. 1.

ГАЕС складається з верхнього водоймища, нормального підпертий рівень (НПР) якого 229,5 м, та буферного водосховища з НПР 77,1 м. Буферне водосховище розташовується між двома гідроелектростанціями: ГЕС-1 – уверх по течії та ГЕС-2 – униз за течією.

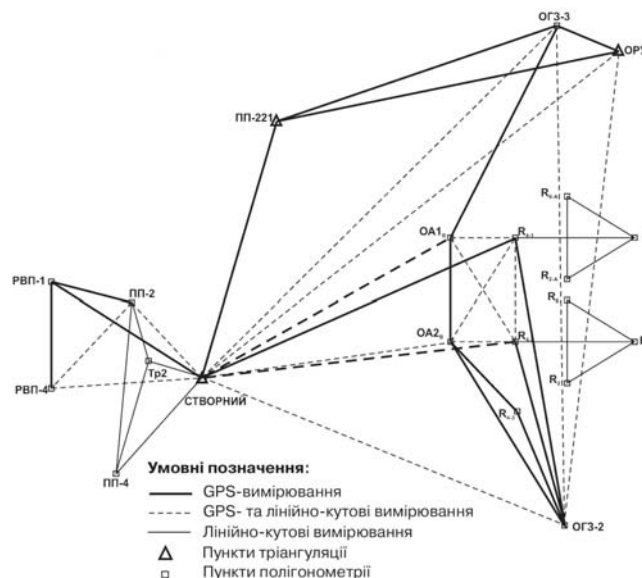


Мал. 1. Схема Дністровської ГАЕС

У періоди найменшого споживання електроенергії (нічні години) агрегати станції працюють у насосному режимі й перекачують воду з буферного у верхнє водосховище. Під час пікового споживання електроенергії (вранішні та вечірні години) станція з допомогою генераторів скидає воду з верхнього водосховища в нижнє. Такий режим роботи станції зумовлює циклічні зміни гідродинамічного навантаження на прилеглу територію.

При виконанні будівельних робіт відбулося переміщення великих об'ємів ґрунту як на поверхні, так і в підземних виробках, що також призвело до зміни гідродинамічного режиму й виникнення поверхнево-напруженого стану приповерхневих частин земної кори.

Для супроводження будівництва та спостережень за деформаціями основних споруд Дністровської ГАЕС було створено спеціальну планово-висотну геодезичну мережу, яка охоплює промайданчик та прилеглу до нього територію. На мал. 2 зображено схему планово-висотного обґрунтування будівництва ГАЕС. Для оцінювання стійкості мережі було виконано комплекс високоточних вимірювань.



Мал. 2. Схема планово-висотного обґрунтування для будівництва Дністровської ГАЕС

Спостереження на пунктах мережі виконувались двома методами: високоточні GPS-вимірювання та просторові лінійно-кутові вимірювання.

Для отримання координат пунктів з високою точністю за допомогою супутникових ГНСС-спостережень було розроблено програму вимірювань векторів та проведення сесій, яка оптимізує конфігурацію розташування приймачів та мінімізує транспортні витрати. В результаті опрацювання даних супутникових



спостережень СКП отриманих координат не перевищувала ± 2 мм – для пунктів з примусовим центруванням та ± 3 мм – для пунктів з центруванням зі штатива. Програма передбачала виконання від 2 до 4-х сесій спостережень на кожному пункті з обов'язковим використанням різних антен GPS-приймачів.

При опрацюванні результатів вимірювань було враховано ексцентриситет фазового центра кожного приймача (незбігання осі обертання антени GPS-приймача і його фазового центра). За методикою [3] визначено параметри ексцентриситету фазового центра.

Спостереження проводились як на пунктах з примусовим центруванням, так і на пунктах з центруванням зі штатива.

Під час вимірювань на контролерах GPS-приймачів були встановлені такі параметри:

- фіксація епох через 5 с;
- вимірювання псевдовідстаней до супутників з висотою над горизонтом не нижче 10° ;
- тривалість вимірювання кожного вектора – не менше 6-ти годин;
- вимірювання проводились при стійкому значенні параметра GDOP, який не перевищував 4-х одиниць.

Крім супутникових, було проведено наземні вимірювання електронним тахеометром фірми "Topcon" – GTS-233. На кожному пункті виконано 18 прийомів вимірювань горизонтальних і вертикальних кутів та похилих відстаней.

Зрівноваження планово-висотної основи виконано за допомогою програмного пакета MATCAD за спеціально розробленою програмою. Оброблялися вектори, отримані з GPS-вимірювань, та дані наземних вимірювань – похилі лінії, вертикальні й горизонтальні кути. Зрівноваження проводилось параметричним методом з визначенням відхилень прямої лінії відносно умовної топоцентричної системи координат. Ваги вимірів горизонтальних та вертикальних кутів і ліній брались як обернені СКП їх визначення з 18-ти прийомів за формулою

$$p = \frac{1}{m^2},$$

де m^2 – СКП виміряних горизонтального й вертикального кутів або ліній.

Ваги GPS-векторів устанавлювалися з виразу

$$p_{\text{GPS}} = \frac{1}{m_{\text{GPS}}^2},$$

де m_{GPS}^2 – СКП виміряного вектора.

У праці [4] подано формулу для попереднього розрахунку точності вимірювання векторів завдовжки до 10 км при тривалості спостережень до 12-ти годин:

$$m_{\text{GPS}} = 2,5 + e^{\left(\frac{0,413}{t} + 0,5675\right)\sqrt{L}},$$

де t – тривалість спостережень у годинах; L – довжина вектора в кілометрах.

За М. М. Машимовим [2], рівняння поправок для різних випадків виглядають так:

для зенітних відстаней –

$$\begin{aligned} & -\xi \cos A_{12} - \eta \sin A_{12} - \frac{1}{s_{12}} \cos A_{12} \cos z_{12} \delta X_1 - \\ & - \frac{1}{s_{12}} \sin A_{12} \cos z_{12} \delta Y_1 + \frac{1}{s_{12}} \sin z_{12} \delta H_1 + \\ & + \frac{1}{s_{12}} \cos A_{12} \cos z_{12} \delta X_2 + \frac{1}{s_{12}} \sin A_{12} \cos z_{12} \delta Y_2 - \\ & - \frac{1}{s_{12}} \sin z_{12} \delta H_2 + lz_{12} = v_{12}; \end{aligned}$$

для горизонтальних напрямків –

$$\begin{aligned} & -\xi \sin A_{12} \text{ctg} z_{12} - \eta \cos A_{12} \text{ctg} z_{12} - \frac{1}{s_{12}} \sin A_{12} \delta X_1 - \\ & - \frac{1}{s_{12}} \cos A_{12} \delta Y_1 + \frac{1}{s_{12}} \sin A_{12} \delta X_2 + \frac{1}{s_{12}} \cos A_{12} \delta Y_2 + \\ & + la_{12} = v_{12}; \end{aligned}$$

для відстаней –

$$\begin{aligned} & -\frac{X_2 - X_1}{s_{12}} \delta X_1 - \frac{Y_2 - Y_1}{s_{12}} \delta Y_1 - \frac{H_2 - H_1}{s_{12}} \delta H_1 + \\ & + \frac{X_2 - X_1}{s_{12}} \delta X_2 + \frac{Y_2 - Y_1}{s_{12}} \delta Y_2 + \frac{H_2 - H_1}{s_{12}} \delta H_2 + \\ & + ls_{12} = v_{12}; \end{aligned}$$

для GPS-векторів –

$$\begin{aligned} & -\delta X_1 + \delta X_2 + lx_{12} = v_{12}; \\ & -\delta Y_1 + \delta Y_2 + ly_{12} = v_{12}; \\ & -\delta H_1 + \delta H_2 + lh_{12} = v_{12}, \end{aligned}$$

де ξ, η – складові відхилення прямої лінії відносно умовної топоцентричної системи координат; A_{12}, z_{12}, s_{12} – азимут, зенітна й похила відстані, приведені до центрів знаків 1 і 2; $\delta X_1, \delta Y_1, \delta H_1, \delta X_2, \delta Y_2, \delta H_2$ – поправки у наближені координати пунктів 1 і 2; вільні члени

$$lz_{12} = \arctg \left(\frac{H_{12}}{\sqrt{X_{12}^2 + Y_{12}^2 + H_{12}^2}} \right) - z_{12};$$

$$la_{12} = \arctg \left(\frac{Y_{12}}{X_{12}} \right) - A_{12};$$

$$ls_{12} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (H_2 - H_1)^2} - s_{12};$$

$$lx_{12} = X_2 - X_1 - \Delta X_{12};$$

$$ly_{12} = Y_2 - Y_1 - \Delta Y_{12};$$

$$lh_{12} = H_2 - H_1 - \Delta H_{12};$$

X_{12}, Y_{12}, H_{12} – наближені координати пунктів 1 і 2; $\Delta X_{12}, \Delta Y_{12}, \Delta H_{12}$ – виміряні GPS-методом прирости координат.



Мережу зрівноважено у такий спосіб: наближені координати пунктів, визначені з GPS-вимірів, та виміряні вектори із геоцентричної системи координат перетворено в умовну топоцентричну геодезичну систему координат. Усі виміри теж зрівноважено у цій самій системі координат. За результатами зрівноваження оцінено точність шуканих параметрів. У таблиці зазначено максимальну похибку визначення координат пунктів m_{\max} , похибки одиниці ваги μ та її визначення m_{μ} , складові відхилення прямої лінії відносно обраної системи координат ξ , η , а також похибки їх визначення m_{ξ} , m_{η} .

Результати оцінювання точності мережі

m_{\max} , мм	μ , мм	m_{μ} , мм	ξ , с	η , с	m_{ξ} , с	m_{η} , с
3,0	1,8	0,2	1,8	2,2	0,7	0,7

В результаті сумісного зрівноваження супутникових та наземних вимірів отримано координати пунктів мережі. СКП визначення координат пунктів не виходять за межі ± 3 мм.

Проаналізувавши результати спостережень, можна зробити висновок, що побудована мережа має високу ступінь стійкості. При зміні конфігурації схеми вимірювань (вилученні окремих вимірів) параметри, вказані у таблиці, практично не змінюються або змінюються у межах точності їх визначення. Це свідчить про досконалу конструкцію мережі й високу точність вимірів.

Висновки. Реалізовано методику сумісного опрацювання результатів високоточних супутникових та наземних лінійно-кутових вимірювань з врахуванням ваг вимірів. Виконано зрівноваження мережі із визначенням відхилень прямої лінії. Розроблено пакет прикладних програм опра-

цювання вимірів. Результатом сумісного зрівноваження мережі є і СКП визначення координат пунктів, яка становить ± 3 мм. Побудована мережа має високу ступінь стійкості.

Література

1. Бровар, В.В. Гравитационное поле в задачах инженерной геодезии [Текст] / В.В.Бровар. – М.: Недра, 1983. – 112 с.
2. Машимов М.М. Уравнивание геодезических сетей [Текст] / М.М. Машимов. – М.: Недра, 1979. – 367 с.
3. Спосіб визначення планових координат точок на земній поверхні: Деклараційний патент на винахід 64097А. Україна, МПК 7 G01C5/00/ – № 20021210442; заявлено 23.12.2002; опубл. 16.02. 2004. Бюл. № 2. – С. 1-8 / К.Р. Третяк, Т.Г. Шевченко, І.Б. Романишин, Ю.І. Голубінка.
4. Третяк К., Сідоров І. Оптимізація побудови геодезичної мережі Дністровської ГАЕС супутниковими радіонавігаційними технологіями [Текст] / К. Третяк, І. Сідоров // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2005. – С. 207-219.

Інтернет-джерела

5. Aghan Ceylan. Determination of the deflection of vertical components via GPS and leveling measurement: A case study of a GPS test network in Konya, Turkey. Scientific Research and Essay. – Vol. 4 (12), pp. 1438-1444, December, 2009; Available online a <http://www.academicjournals.org/SRE>. – ISSN 1992-2248. © 2009, Academic Journals.
6. Mike Potterfield. Accurate orthometric heights from gps: combined network adjustments using gps, differential leveling, and correlated geoid models // Geodetic solutions (www.geodeticsolutions.com), p.o. box 223761. – Carmel, California, 93922.

Надійшла 02.03.12

* * *

УДК 528.3 +621.372

Л. М. Янків-Вітковська, Я. М. Матвійчук, С. Г. Савчук, В. К. Паучок

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН КООРДИНАТ GNSS-СТАНЦІЙ МЕТОДОМ МАКРОМОДЕЛЮВАННЯ

Описаны базовый алгоритм идентификации макромоделей и пути его усовершенствования для исследования и прогнозирования моделирования данных мониторинга земной поверхности и временных рядов координат GNSS-станций. Разработаны макромоделей влияния солнечной активности и приливных сил на геосейсмическую активность и уровень инфразвука земной поверхности, а также на изменения координат, которые определяются из GNSS-наблюдений.

It is described the basic algorithm of a macromodel identification and the ways of its improvement for research and predictive modeling of data of the earth's surface monitoring and time series of coordinates of GNSS stations. There have been developed the macromodels of impact of solar activity and tidal forces on geoseismic activity and the level of infrasound of the earth's surface, as well as on the changes of the coordinates that are regularly determined from GNSS observations.

Вступ. Визначення координат і швидкостей руху GNSS-станцій із супутникових спостережень наразі є одним з методів створення національних рефе-

ренціальних систем координат і основним методом їх практичного відтворення. Цей метод дає змогу вирішувати завдання створення таких референціальних систем, які не поступаються за точністю міжнародній системі ITRF, тобто кількох міліметрів з урахуванням похибок визначення їх швидкостей.

© Л. М. Янків-Вітковська, Я. М. Матвійчук,
С. Г. Савчук, В. К. Паучок, 2012