

УДК 528.27

Б. ПАЛЯНИЦЯ<sup>1</sup>, Б. ДЖУМАН<sup>1</sup>, І. СІДОРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел. +38(096)9176069,+38(068)7632139, ел. пошта pal-bb@ukr.net, teojuman@gmail.com

<sup>2</sup>Кафедра геодезії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел. +38(096)9196050, ел. пошта ig.sav.sid@gmail.com

## ГРАВІМЕТРИЧНІ РОБОТИ НА ТЕРИТОРІЇ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС

**Мета.** Виконання гравіметричних вимірювань на пунктах опорної геодезичної мережі на території Дністровської гідроакumuлюючої електростанції (ДГАЕС) для дослідження значення поправки в нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь. **Методика.** Для виконання гравіметричних робіт на території ДГАЕС застосовано три високоточні гравіметри ГНУ-КВ. Перед початком виконання вимірювань проведено низку досліджень цих гравіметрів, серед яких: дослідження на мінімум чутливості до нахилу, визначення часу встановлення відліку, розрахунок діапазону вимірювань і його регулювання, визначення зміщення нуля-пункту та його врахування, а також еталонування. Еталонування гравіметрів виконано на трьох пунктах Київського вузькодіапазонного гравіметричного полігона, між якими відоме достатньо точно значення приросту прискорення у вільному повітрі  $\Delta g$ . Під час гравіметричних вимірювань на пунктах ДГАЕС з метою отримання поправок у нівелювання було виконано сім гравіметричних рейсів, які охоплювали десять пунктів геодезичної мережі з відомими координатами. На опорному пункті обчислено значення прискорення вільного падіння  $g$  з використанням глобальної моделі гравітаційного поля Землі EGM2008 до 2190 ступеня/порядку. **Результати.** На основі вимірних даних обчислено різниці прискорення вільного падіння для кожного рейсу відповідно. Після опрацювання гравіметричних даних встановлено, що поправка в нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь у рейсах міститься у межах від 0,089 мм до 1,517 мм. Для деяких ліній мережі ця поправка перевищує допустиму систематичну похибку нівелювання першого класу удвічі, відповідно під час опрацювання нівелювання першого класу на таких лініях її необхідно враховувати. **Наукова новизна і практична значущість.** Вперше на території Дністровської ГАЕС проведено гравіметричне знімання для обчислення поправок у високоточне нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь. Обґрунтовано потребу у виконанні такого знімання на території ДГАЕС для зменшення систематичної похибки нівелювання.

*Ключові слова:* гравіметрія, Дністровська ГАЕС, геодезична мережа, нівелювання.

### Вступ

Дністровська гідроакumuлююча електростанція (ДГАЕС) є однією із найбільших у світі. Вона призначена для регулювання частоти і графіка навантажень в енергетичній системі нашої країни. Будівництво цього масштабного об'єкта розпочалося ще у 1983 р., але перший гідроагрегат запущено у 2009 р. Сьогодні працюють три гідроагрегати із семи запланованих. Згідно з проектом збудовано штучне водосховище об'ємом майже 40 млн м<sup>3</sup>, і вже тепер протягом доби його об'єм змінюється трохи менше, ніж наполовину. Циклічність зміни гідродинамічних навантажень може призвести до виникнення аварійних ситуацій, тому виникає потреба постійного геодезичного і геофізичного моніторингу цього об'єкта та прилеглих до нього територій [Третяк та ін., 2004; Ceylan, 2009; Potterfield, 2015]. Такий моніторинг на ДГАЕС провадиться практично з 2005 р.

[Третяк, 2005], а у жовтні 2018 р. на пунктах опорної геодезичної мережі ДГАЕС було виконано перший цикл гравіметричних вимірювань.

### Мета

Мета роботи – виконання гравіметричних вимірювань на пунктах опорної геодезичної мережі, яка існує на території Дністровської гідроакumuлюючої електростанції, для дослідження значення поправки в нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь.

Завдання полягало у виконанні гравіметричних вимірювань на пунктах опорної геодезичної мережі. Для цього було заплановано сім гравіметричних рейсів. Вимірювання здійснювали трьома високоточними гравіметрами ГНУ-КВ на усіх пунктах кожного рейсу. Попередньо потрібно було виконати дослідження цих гравіметрів та визначення їхніх сталих, після цього опрацювати результати вимірю-

вань і обчислити поправки у результати геометричного нівелювання.

### Методика

Для виконання гравіметричних робіт на території Дністровської ГАЕС застосовували три високоточні гравіметри ГНУ-КВ. Перед початком виконання вимірювань проведено низку досліджень цих гравіметрів, серед яких [Двуліт, 1998]:

- регулювання оптичної системи;
- регулювання приладу на мінімум чутливості до нахилу;
- визначення та регулювання чутливості;
- визначення часу встановлення відліку;
- визначення температурної характеристики;
- еталонування;
- розрахунок діапазону вимірювань і його регулювання;
- визначення зміщення нуля-пункту та його врахування.

Одним із найважливіших досліджень вважають еталонування – визначення сталої гравіметра, оскільки у разі неточного її визначення виникають доволі великі систематичні похибки вимірювань, що призводить до значного спотворення результатів під час визначення поправки в нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь. Тому розглянемо цей процес детальніше. Еталонування гравіметрів ГНУ-КВ № 473, № 485, № 499 виконано на пунктах Київського вузькодіапазонного гравіметричного полігона, розташованого у Київській області, Броварському районі, на трасі м. Бровари – м. Козилець. Загалом задіяно три гравіметричні пункти: № 47, № 49 і № 52. Відстань між ними приблизно 10 км. На місцевості вони закріплені монолітом розміром  $1 \times 1 \times 1$  м з металевою плитою

$0,5 \times 0,5$  м із відповідним номером і написом “УСРСР, Академія наук, Інститут геофізики, № і рік закладання” (рис. 1).

Між цими пунктами з достатньою точністю відомо значення приросту прискорення у вільному повітрі  $\Delta g$ . Вимірювання полягали у виконанні кількох гравіметричних рейсів: 1) 49–47–49; 2) 49–52–49; 3) 49–47–49; 4) 49–52–49; 5) 49–47–49; 6) 49–52–49 (13.11.2018 р.) та 1) 47–52–47; 2) 49–47–49; 3) 49–52–49; 4) 49–47–49 (14.11.2018 р.).

Визначення зміщення нуля-пункту гравіметрів виконано за участю працівників ДП “Північгеологія”. Результати визначення зміщення нуля-пункту гравіметрів показано на рис. 2–7.

З опрацювання рейсів встановлено такі значення сталих гравіметрів :

ГНУ-КВ № 473  $C = -7,33$ ;

ГНУ-КВ № 485  $C = -7,68$ ;

ГНУ-КВ № 499  $C = -19,353$ .

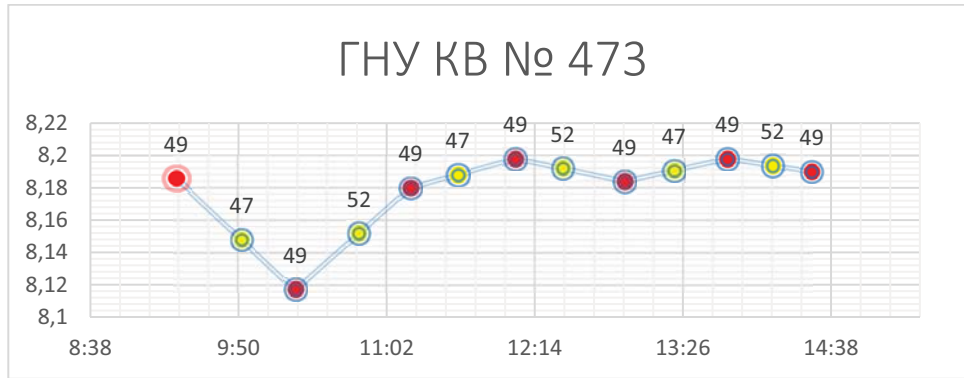
Після проведення досліджень гравіметрів і переїзду на територію Дністровської гідроакумулюючої електростанції там було виконано розрахунок діапазону вимірювань гравіметрів і його регулювання, а також інші дослідження приладів. Після цього протягом трьох днів здійснювалося гравіметричне знімання.

Для визначення поправок у нівелювання [Бровар, 1983] було виконано сім гравіметричних рейсів, які охоплювали десять пунктів із відомими геодезичними координатами. Пункт “Створний” вибрано базовим, на ньому обчислено значення прискорення вільного падіння  $g$  із використанням глобальної моделі гравітаційного поля Землі EGM2008 [Pavlis, 2008] до 2190 ступеня/порядку ( $g_{\text{Створний}}^{\text{EGM 2008}} = 980902,57$  мГал). Схему пунктів геодезичної мережі ДГАЕС зображено на рис. 9.



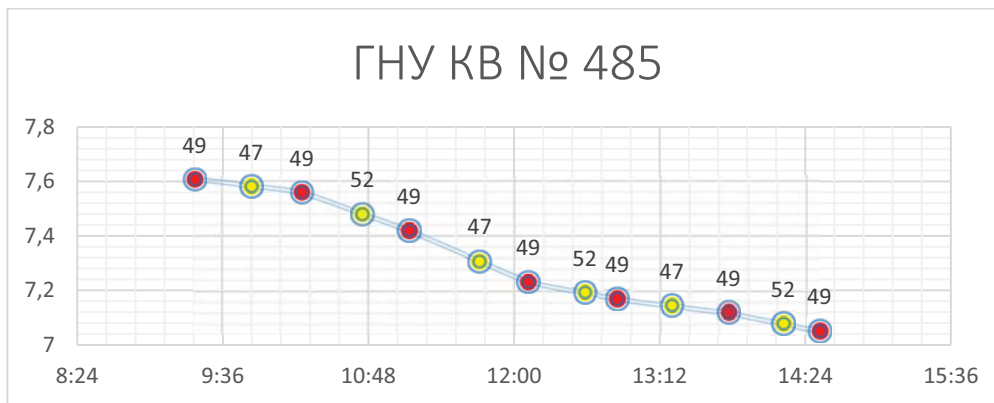
Рис. 1. Вигляд гравіметричних пунктів № 47, № 49 і № 52

Fig. 1. The view of gravimetric points No. 47, No. 49 and No. 52



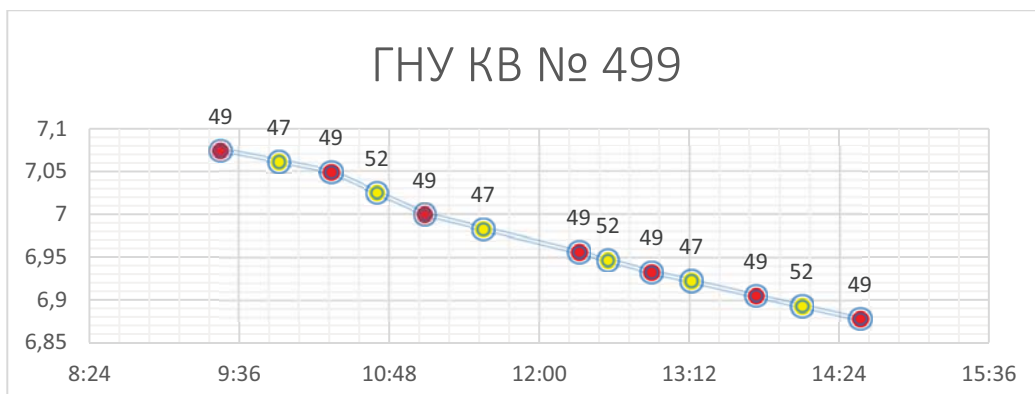
*Рис. 2. Результати визначення зміщення нуль-пункту гравіметра ГНУ-КВ № 473 (13.11.2018 р.)*

*Fig. 2. Results of the zero-point shift determination of GNU-KV gravimeter No. 473 (November 13, 2018)*



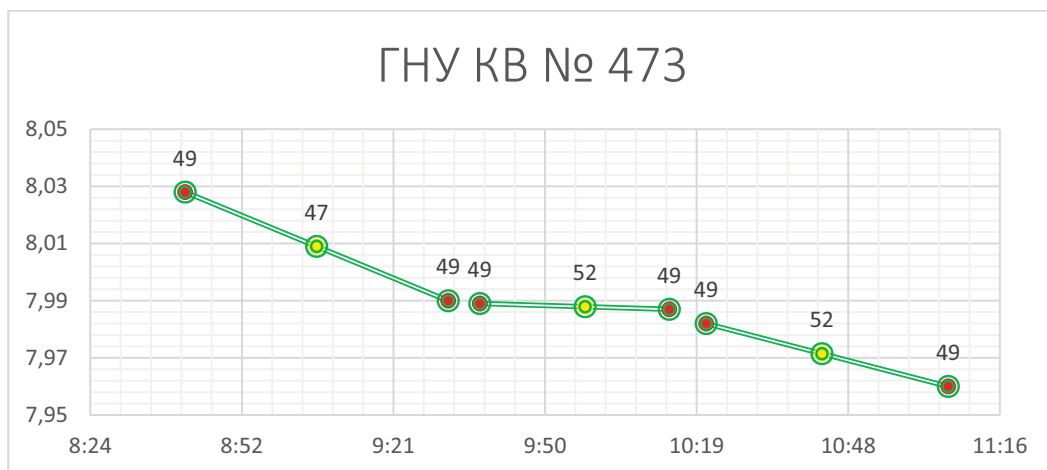
*Рис. 3. Результати визначення зміщення нуль-пункту гравіметра ГНУ-КВ № 485 (13.11.2018 р.)*

*Fig. 3. Results of the zero-point shift determination of GNU-KV gravimeter No. 485 (November 13, 2018)*



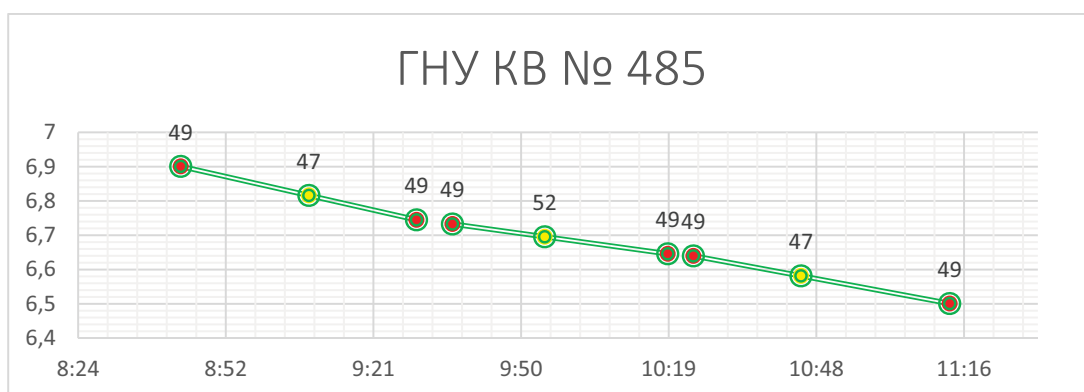
*Рис. 4. Результати визначення зміщення нуль-пункту гравіметра ГНУ-КВ № 499 (13.11.2018 р.)*

*Fig. 4. Results of the zero-point shift determination of GNU-KV gravimeter No. 499 (November 13, 2018)*



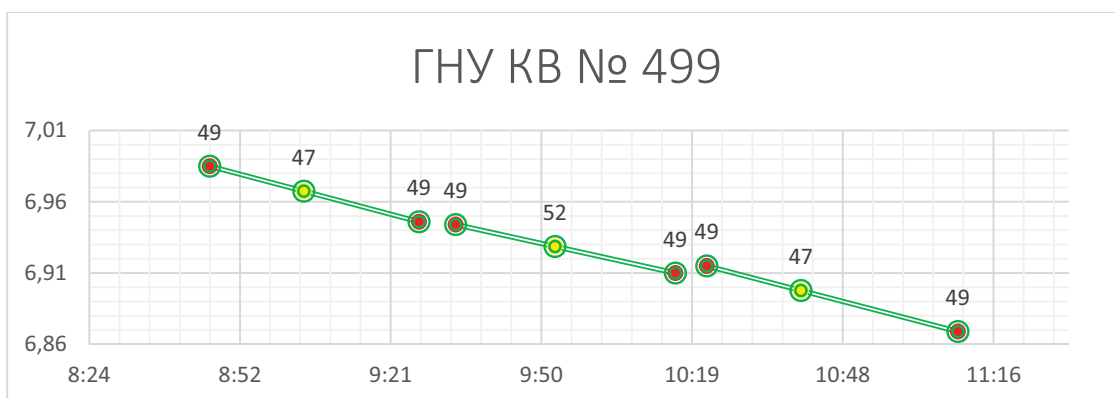
*Рис. 5. Результати визначення зміщення нуля-пункту гравіметра ГНУ-КВ № 473 (14.11.2018 р.)*

*Fig. 5. Results of the zero-point shift determination of GNU-KV gravimeter No. 473 (November 14, 2018)*



*Рис. 6. Результати визначення зміщення нуля-пункту гравіметра ГНУ-КВ № 485 (14.11.2018 р.)*

*Fig. 6. Results of the zero-point shift determination of GNU-KV gravimeter No. 485 (November 14, 2018)*



*Рис. 7. Результати визначення зміщення нуля-пункту гравіметра ГНУ-КВ № 499 (14.11.2018р.)*

*Fig. 7. Results of the zero-point shift determination of GNU-KV gravimeter No. 499 (November 14, 2018)*

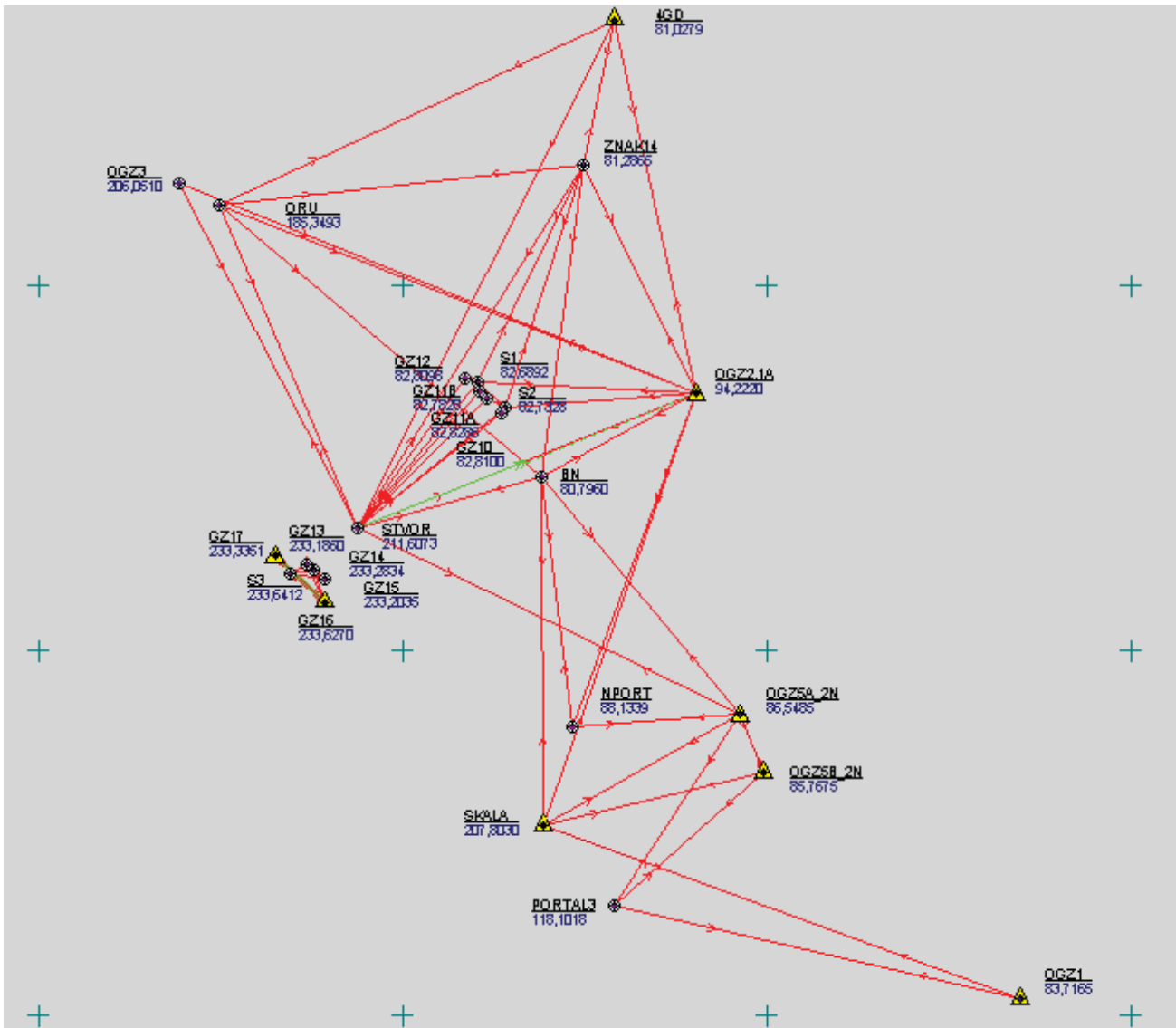


Рис. 9. Схема пунктів геодезичної мережі ДГАЕС

Fig. 9. Scheme of points of the DHAPS geodetic network

### Результати

Отже, гравіметричне знімання виконано на таких геодезичних пунктах: Створний, Скала, ГЗ-3, ГЗ-4н, 4-ГД, Новий портал, ОГЗ-1, ОГЗ-3, ОГЗ-2-1А, ОЗС-5А-2Н. У табл. 1–6 наведено відомості обчислення різниць прискорення вільного падіння для кожного рейсу відповідно.

Робоча формула для обчислення різниці нормальних висот між реперами  $i$  – заднім,  $k$  – переднім за ходом має вигляд

$$H_k^\gamma - H_i^\gamma = \Delta h_e + 1.020 \left[ (\gamma_{oi} - \gamma_{ok}) H_m^\gamma + (g - \gamma)_m \Delta h_e \right] = \Delta h_e + \delta h, \quad (1)$$

де  $\Delta h_e$  і  $(g - \gamma)_m$  – сума вимірних перевищень і середня аномалія сили ваги (у вільному повітрі) між реперами

$i, k$ ;  $\gamma_{oi}, \gamma_{ok}$  – значення нормальної сили ваги на нормальному еліпсоїді на широтах цих реперів,  $m/c^2$ ;  $H_m^\gamma = 0.5(H_i^\gamma + H_k^\gamma)$  – середня висота між заднім  $k$  і переднім  $i$  реперами, значення якої з точністю до 1 м отримують із попередніх обчислень.

Для визначення аномалій  $(g - \gamma)$ , використано карти аномалій, люб'язно надані ДП “Північгеологія” [Снтин, 2012].

Використовуючи описану вище методику, ми обчислили відомості поправок у нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь.

Після опрацювання гравіметричних даних встановлено, що поправка в нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь коливається в межах від 0,089 мм до 1,517 мм.

Таблиця 1

**Відомість опрацювання  
гравіметричного рейсу № 1**

Table 1

**Work record  
of gravimetric work No. 1**

23.10.2018

ГНУ-КВ №	473	485	499
Ціна поділки	-7,33	-7,68	-19,324
	Δg, мГал		
1) Створний			
	-0,3793	-0,4635	-0,8836
2) Скала			
	0,3362	0,0969	-0,1978
3) ГЗ-3			
	-1,3677	-0,4514	-0,8029
4) ГЗ-4н			

Таблиця 2

**Відомість опрацювання  
гравіметричного рейсу № 2**

Table 2

**Work record  
of gravimetric work No. 2**

24.10.2018

ГНУ-КВ №	473	485	499
Ціна поділки	-7,33	-7,68	-19,324
	Δg, мГал		
1) Створний			
	-0,3384	0,3647	-1,3917
2) ГЗ-3			
	30,9633	31,0140	-31,0757
3) 4-ГД			
	30,2127	29,6048	29,9005
4) БН			

Таблиця 3

**Відомість опрацювання  
гравіметричного рейсу № 3**

Table 3

**Work record  
of gravimetric work No. 3**

24.10.2018

ГНУ-КВ №	473	485	499
Ціна поділки	-7,33	-7,68	-19,324
	Δg, мГал		
1) 4-ГД			
	-3,5453	-3,0426	-3,8563
2) ОГЗ 2-1А			

Таблиця 4

**Відомість опрацювання  
гравіметричного рейсу № 4**

Table 4

**Work record of  
gravimetric work No. 4**

24.10.2018

ГНУ-КВ №	473	485	499
Ціна поділки	-7,33	-7,68	-19,324
	Δg, мГал		
1) ОГЗ 2-1А			
	0,8495	0,8668	1,3789
2) ОГЗ-1			
	0,3183	0,2046	0,4170
3) ОЗС-5А-2Н			

Таблиця 5

**Відомість опрацювання  
гравіметричного рейсу № 5**

Table 5

**Work record  
of gravimetric work No. 5**

25.10.2018

ГНУ-КВ №	473	485	499
Ціна поділки	-7,33	-7,68	-19,324
	Δg, мГал		
1) 4-ГД			
	-28,989	-28,7085	-29,498
2) ОГЗ-3			

Таблиця 6

**Відомість опрацювання  
гравіметричного рейсу № 6**

Table 6

**Work record  
of gravimetric work No. 6**

26.10.2018

ГНУ-КВ №	473	485	499
Ціна поділки	-7,33	-7,68	-19,324
	Δg, мГал		
1) 4-ГД			
	-31,2590	-31,7863	-31,6082
2) ГЗ-3			
	-30,8002	-30,7793	-31,6528
3) Створний			

**Наукова новизна і практична значущість**

Вперше на території Дністровської ГАЕС проведено гравіметричне знімання для обчислення



поправок у високоточне нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь.

### Висновки

Виконавши роботу, можна зробити такі висновки:

- здійснено дослідження та еталонування високоточних гравіметрів ГНУ-КВ № 473, № 485, № 499 й отримано ціну поділки шкали кожного із цих приладів;
- проведено та опрацьовано сім гравіметричних рейсів, які охоплюють десять пунктів геодезичної мережі ДГАЕС;
- встановлено, що поправка в нівелювання за непаралельність рівневих поверхонь у рейсах міститься в межах від 0,089 мм до 1,517 мм;
- для деяких ліній мережі поправка за непаралельність рівневих поверхонь перевищує допустиму систематичну похибку нівелювання першого класу вдвічі. Відповідно під час опрацювання нівелювання першого класу на таких лініях необхідно брати до уваги цю поправку, оскільки її неврахування призводитиме до збільшення систематичної похибки нівелювання пропорційно до довжини ходу нівелювання, а це спричинить отримання недостовірних результатів про висоти та зміщення геодезичних пунктів.

### Література

Ceylan A. (2009). 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. Available online: <http://www.academicjournals.org/SRE>. ISSN 1992-2248 © 2009 Academic Journals.

Pavlis N., Holmes S., Kenyon S., Factor J. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM (2008). *Geophysical Research Abstracts*, 10, EGU2008-A-01891, EGU General Assembly, 2008.

Potterfield M. Accurate orthometric heights from gps: combined network adjustments using gps, differential leveling, and correlated geoid models. Geodetic solutions ([www.geodeticsolutions.com](http://www.geodeticsolutions.com)) p.o. box 223761. Carmel, California 93922.

Бровар В. В. (1983). Гравитационное поле в задачах инженерной геодезии. Москва: Недра, 112 с.

Двуліт П. Д. (1998). Гравіметрія: підручник. Львів, 195 с.

Єнтин В. А. (2012). Природные геофизические феномены. Киев, 76 с.

Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов (1974). Москва: Недра.

Третяк К. Р., Шевченко Т. Г., Романишин І. Б., Голубінка Ю. І. 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

Третяк К., Сідоров І. (2005). Оптимізація побудови геодезичної мережі Дністровської ГАЕС супутниковими радіонавігаційними технологіями. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, Львів, С. 207–219.

B. PALANYTSA<sup>1</sup>, B. DZHUMAN<sup>1</sup>, I. SIDOROV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, 6, Karpinsky str., Lviv, 79013, Ukraine, +38(096)9176069, +38(068)7632139, e-mail pal-bb@ukr.net, teojuman@gmail.com

<sup>2</sup>Department of Geodesy, Lviv Polytechnic National University, Karpinsky str. 6, Lviv, 79013, Ukraine, +38(096)9196050, e-mail ig.sav.sid@gmail.com

### GRAVIMETRIC WORKS IN TERRITORY OF DNISTROVSK HAPS

**Aim.** The purpose of this work is to perform gravimetric measurements at the points of the existing reference geodetic network on the territory of the Dniester hydro-accumulating power station (DHAPS) to study the magnitude of the correction in the leveling for the non-parallelism of the level surfaces. **Method.** For performance of gravimetric works on the territory of the DHAPS we used three high-precision gravimeters GNU-KV. Before starting the measurements we conducted a number of studies of these gravimeters: adjusting the optical system, adjusting the device to a minimum of tilt sensitivity, detecting and controlling the sensitivity, determining the timing of the reference, determining the temperature characteristics, benchmarking, calculating the range of measurements and its adjustment, determining the displacement of the zero point and its inclusion. One of the most important studies is the standardization (definition of a constant) of gravimeter. Standardization of gravimeters GNU-KV was carried out at the points of the Kiev narrow-band gravimetric polygon. The distance between them is about 10 km. Between these points, with sufficient accuracy, the value of acceleration in free air  $\Delta g$  is known For correction of leveling 7 gravimetric works were performed that covered 10 points of the well-known geodesic network at the DHAPS. At the reference point, the value of acceleration of free fall  $g$  was calculated using the global model of the gravitational field of the Earth EGM2008 to 2190

degree/order. **Results.** Based on the measured data, the difference between free fall acceleration for each work is calculated respectively. After working out gravimetric data it was established that the correction in leveling for the nonparallel level surfaces varies from 0.089 mm to 1.517 mm. For some lines of the network, the correction for the non-parallelism of level surfaces exceeds the permissible systematic error of leveling the first class twice. Accordingly, when working out the leveling of the first class on such lines it is necessary to take into account this correction. Failure to take into account this correction will result in an increase in the systematic error of leveling in proportion to the length of the leveling process, which will result in false results about the height and displacement of the geodetic points. **The scientific novelty and practical significance.** For the first time in the territory of the Dniester HAPS gravimetric surveying was carried out to calculate corrections in precision leveling for the non-parallelism of level surfaces. The necessity to carry out such removal on the territory of the DHAPS is grounded in order to reduce the systematic error of leveling.

*Key words:* gravimetry, Dniester HAPS, geodetic network, leveling.

#### References

- Ceylan A. (2009). 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. Available online a <http://www.academicjournals.org/SRE>. ISSN 1992-2248.
- Pavlis N., Holmes S., Kenyon S., Factor J. (2008). An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. *Geophysical Research Abstracts*, 10, EGU2008-A-01891, EGU General Assembly.
- Potterfield M. Accurate orthometric heights from GPS: combined network adjustments using gps, differential leveling, and correlated geoid models. *Geodetic solutions* ([www.geodeticsolutions.com](http://www.geodeticsolutions.com)) p.o. box 223761. Carmel, California 93922.
- Brovar V. V. (1983). *Gravytacyonnoe pole v zadachax ynzhenennoj geodezyi*. M.: Nedra, 112 s.
- Yentyn V. A. (2012). *Natural geophysical phenomena in Ukraine*. Kyiv, 76 p.
- Dvulit P. D. (1998). *Gravimetriya: pidruchnyk*. Lviv, 195 p.
- Ynstrukcyia po nyvelyrovanyu I, II, III, IV klassov (1974). M.: Nedra.
- Tretyak K. R., Shevchenko T. G., Romanyshyn I. B., Golubinka Yu. I. Sposib vyznachennya planovykh koordynat tochok na zemnij poverxni: Deklaracijnyj patent na vynaxid 64097A. Ukrayina, MPK 7 G01C5/00/ № 20021210442; zayavleno 23.12.2002; Opubl. 16.02. 2004. Byul. No. 2. – S. 1–8.
- Tretyak K. R., Sidorov I. (2005). Optyimizaciya pobudovy geodezychnoyi merezhi Dnistrovskoyi GAES suputnykovymy radionavigacijnymy tehnologiyamy. *Suchasni dosyagnennya geodezychnoyi nauky ta vyrobnytva*. Lviv, S. 207–219.

