

УДК 528.024:528.06

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАЛЬНИХ ВИСОТ ПУНКТИВ ЗА ДАНИМИ GNSS- СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Канд. техн. наук С.В. Нестеренко, канд. техн. наук Р.А. Міщенко.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE NORMAL HEIGHTS OF POINTS ACCORDING TO GNSS OBSERVATIONS

PhD (Tech.) S. Nesterenko, PhD (Tech.) R. Mishchenko.

Анотація. Наведено результати експериментальної перевірки точності визначення нормальних висот за допомогою двочастотних GNSS–приймачів у RTK режимі на основі стійкої мережі нівелірних пунктів, які розташовані на геодезичному дослідному полігоні Полтавської гравіметричної обсерваторії. Досліджено умови ефективного використання супутникових геодезичних приймачів. Відмічено, що на сьогодні в Україні немає діючого нормативно-інструктивного документу, який містить положення щодо використання новітніх геодезичних технологій.

Ключові слова: GNSS–приймач, нівелірна мережа, перманентні GNSS–станції, координатні поправки, геометричне нівелювання, геодезична точність.

Abstract. The article considers the issue of determining the absolute coordinates of points using modern geodetic technologies. The list of networks of active reference stations of Ukraine that transmit differential corrections has been updated. The article presents the results of experimental verification of the accuracy of normal altitudes using dual-frequency GNSS – receivers in RTK mode based on a stable network of leveling points located at the geodetic research site of the Poltava Gravimetric Observatory. The satellite data was transmitted through the Poltava Base Permanent Station (POLV), located on the territory of the geodetic landfill. The observations were based on System.net network. Determination of the quantitative characteristics of the vertical dynamics of the benchmarks under the action of local hydrothermal factors was carried out relative to a stable benchmark with a depth of 6 m geometric leveling using a level H-05. The normal heights of the points according to which further research was performed were adjusted in April 2021. The following results were obtained in the research: 21% of measurements have gross deviations, 47% - within acceptable limits, 32% of measurements have high geodetic accuracy. It was found that the use of network RTK has a number of advantages, such as ease and speed of removal, versatility and cost-effectiveness, the ability to work in almost anywhere in Ukraine. However, gross deviations are likely to occur due to a number of factors, such as ephemeris and time errors, satellite configuration geometry,

multipath, ionospheric and troposphere effects, and so on. The conditions of effective use of satellite geodetic receivers are investigated. It is noted that the use of GPS / GNSS receivers is limited in populated areas due to poor image quality. In built-up areas, the method of geometric leveling remains the most accurate for determining the heights of points.

It is noted that today in Ukraine there is no current normative and instructive document, which contains provisions for the use of the latest geodetic technologies.

Keywords: GNSS–receiver, leveling network, permanent GNSS–stations, coordinate corrections, geometric leveling, geodetic accuracy.

Вступ. Технологічна еволюція в геодезичному виробництві привела до широких можливостей виконання різноманітних інженерно-технічних робіт. Більшість геодезичних робіт пов'язані з визначенням координат точок на місцевості у певній системі координат з подальшим трансформуванням їх у Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000, так як обробка матеріалів зйомок при виконанні робіт із землеустрою здійснюється саме в цій системі координат або в місцевій системі координат, яка однозначно зв'язана із системою координат УСК-2000. Визначення абсолютних координат точок можна виконати різними технологічними засобами, досягаючи при цьому достатньої точності. Проте часто сучасне покоління геодезистів, нехтуючи нормативно-законодавчим підґрунтям, використовують сучасні геодезичні технології з порушенням контрольних заходів. Наприклад, згідно [1] під час використання супутникових геодезичних GNSS–приймачів для визначення точок знімальної основи та зйомки геопросторових об'єктів із застосуванням технологій RTK необхідно перевіряти диференційне поле координатних поправок, які задаються мережами GNSS. Тобто, виконуючи геодезичну зйомку за допомогою GNSS-приймачів треба знати про ймовірність виникнення грубих відхилень через ряд факторів: похибки ефемерид та часу, геометрія конфігурації супутників, багатопроменеве поширення, вплив іоносфери та тропосфери тощо [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями розвитку глобальних навігаційних супутникових систем, технологій супутникової навігації займалися багато вітчизняних та зарубіжних науковців, таких як Грей Джим, Дж. Розенау, В.В Дик, Н. Хомські, Г.Р. Громов, Ю.А. Соловійов, А.І. Гусєв, В. Гондюл, І. Забара [3], А.Й. Віват, В.О. Літинський [4], І.В. Калинич, С.Г. Савчук [5], дослідженнями сучасної геодинаміки в Україні, у тому числі й вертикальної, – К.Р. Третяк [6], В.Г. Павлик [7] та інші.

Визначення мети та завдання дослідження. На основі стійкої мережі нівелірних пунктів необхідно виявити вплив факторів на точність визначення нормальних висот у RTK режимі, проаналізувати ефективність використання супутникових геодезичних приймачів GNSS.

Основна частина дослідження. Геодезична та картографічна основа Державного земельного кадастру є єдиною для формування та ведення містобудівного кадастру та кадастрів інших природних ресурсів. Тому однією з

необхідних умов для якісного ведення земельного кадастру є наповнення баз даних точними і достовірними геодезичними даними [8].

Щоб здійснити дійсно якісну та максимально точну геодезичну зйомку необхідно, щоб вона виконувалася з використанням надійних інструментів, які пройшли перевірку на якість і достовірність. Причому, інструменти для виконання подібних робіт повинні пройти не просто перевірку, а державну атестацію з подальшою щорічною переатестацією. Сам процес зйомки повинен бути проведений за всіма геодезичними правилами і за певним алгоритмом.

GNSS–технологія зйомки знайшла широке застосування в геодезії, міському і земельному кадастрі, при інвентаризації земель, будівництві інженерних споруд, у геології тощо [9, 10]. GNSS–приймачі для геодезії спеціально створені для точного визначення координат точкових об'єктів [11]. Для створення і розвитку планово-висотного обґрунтування, виконання топографічних зйомок усіх масштабів застосовуються двочастотні GNSS–приймачі, які дають можливість працювати на великих відстанях від базової станції. GNSS–приймачі мають можливість прийому сигналів декількох супутникових систем, зменшують час роботи і покращують якість і точність вимірювань.

Для корекції GNSS–даних на території України використовуються методи коригування DGPS і RTK з наземних базових станцій. Диференціальний режим DGPS забезпечує дециметрову точність (1 – 3 м) визначення місцезрештування об'єкту [12]. Цей метод є достатньо простим і економічним, так як в роботі застосовуються одночастотні антени. Для високоточної координатної, знаходження планових координат і висот точок топографічної поверхні із сантиметровою точністю використовується режим RTK. Для роботи в даному режимі необхідні двочастотні антени, які дають можливість картографування ділянок території з геодезичною точністю на всій території покриття мережі RTK.

GNSS-приймачі з RTK – в даній комплектації прилади оснащуються приймально-передавальними радіо або GSM–модемами, що дають можливість отримувати кінцевий результат вимірювань і оцінку точності безпосередньо в полі у режимі реального часу (RTK) із сантиметровою точністю в мережі постійно діючих референціальних GNSS–станцій [13]. Вважається, що основним недоліком використання RTK є те, що отримання поправок у реальному часі – це платні послуги.

Світова практика використання активних перманентних станцій почалася з 2000 р. [4]. Такі референціальні станції об'єднуються у локальну національну мережу і працюють для реалізації RTK-технологій [5]. У геодезичному сенсі активна мережа референціальних станцій є мережею згущення від мережі перманентних станцій, хоча й відрізняються своїми функціями, точністю, інфраструктурою.

В Україні технологічне обладнання та програмний продукт для забезпечення визначення координат у RTK режимі є на сучасному рівні. Функціонують наступні мережі активних референціальних станцій, які передають диференціальні поправки [14-19]: System.net, Geoterrace, RTK HUB, NGC.NET,

UA-EUPOS/ZakPOS, СКНЗУ (Табл. 1). Кожна з них використовує спеціальне програмне забезпечення фірм Leica, Trimble, Topcon та наземні GNSS станції. Мережа UA-EUPOS/ZakPOS та System.net повністю автоматизовані.

Таблиця 1

Перелік українських мереж перманентних GNSS-станцій

№ п/п	Назва мережі	Організація	Кількість пунктів ГНСС	Започаткована, рік
1.	System.net	ПрАТ «System Solutions», м. Київ	110	2011
2.	Geoterrace	Інститут геодезії Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів	82	2012
3.	RTK HUB	Компанія «TNT-TPI» (представництво TOPCON в Україні), м. Дніпро	52	2005
4.	NGC.NET	НПП «Навігаційно-геодезичний центр» (офіційний дилер фірми Leica Geosystems, Швейцарія), м. Харків	10	2010
5.	UA-EUPOS/ZakPOS	Компанія «ZakPOS» (представництво Trimble в Україні), Закарпатська обл. м. Мукачево,	173 – в Україні, 21 – за кордоном	2009
6.	СКНЗУ	Національний центр управління та випробувань космічних засобів, м. Київ	10	2010

У Полтавській області створені усі необхідні умови для визначення координат у режимі RTK. Діють три окремих сервіси для передачі поправок у реальному часі: UA-EUPOS/ZakPOS, RTK HUB, System.net. Система RTK HUB забезпечує цілодобовий доступ до сервісу RTK корекції та сирих даних супутникових спостережень. Пропонуються наступні сервіси: доступ 24/7; робота від мережевого рішення RTK; робота від найближчої станції; робота від обраної станції; похвилинні пакети доступу до RTK [16]. Вартість однієї години в режимі реального часу (RTK) залежить від вибраної підписки і складає від 0,65 грн. до 3,75 грн.

Мережа EUPOS/ZakPOS повністю побудована за принципами та вимогами EUPOS. Використовується апаратне та програмне забезпечення фірми Trimble. Вартість однієї хвилини спостережень базових та віртуальних станцій (постобробка) становити 0,036 €, що за курсом, становить 1,18 грн. Вартість однієї хвилини в режимі реального часу (RTK) за 1 хвилину 0,06 €, що за курсом приблизно становить 1,92 грн. [18].

Мережа System.net надає послуги для будь-якого споживача, який має GNSS приймач з можливістю прийняття RTK поправок з Інтернету через GSM /

GPRS підключення. RTK поправки передаються у вигляді стандартизованих повідомлень в різних форматах: RTCM v2.x, v3.x, Leica, Leica 4G, CMR, NMEA і т.д. Зв'язок по протоколу NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol – Мережевий протокол передачі RTCM через Інтернет). Зареєструватися в мережі і підписатися на пакет послуг роботи в режимі реального часу можна через систему управління послугами [14]. RTK – базовий пакет для роботи, що включає в себе функції роботи від одиночної базової станції – «nearest» та мережеві рішення – Automax, I-Max, VRS. Мережа System.net надає програмне забезпечення у Telegram і Viber, за допомогою якої можна дізнатись координати потрібної станції або подивитись стан найближчих до нас.

Мережа базових станцій RTK являє собою певну кількість постійно діючих GPS/GNSS приймачів, рекомендовано мати мінімум п'ять базових станцій, які об'єднують накопичені супутникові дані і формують RTK поправки для роверів. Відстань між станціями не повинна перевищувати 70 км, радіус перекриття не більше 50 км для двочастотних приймачів.

Дослідження проводилися на геодезичному полігоні Полтавської гравіметричної обсерваторії. На полігоні закладена мережа реперів різної глибини з відомими показниками стійкості. Розташування GPS-станції на території геодезичного полігону (POLV) значно спрощує завдання визначення кількісних характеристик її вертикальної динаміки під дією локальних гідротермічних чинників. На відстані 75 м від станції знаходиться репер А1 глибиною 6 м, який відзначається високою стійкістю впродовж усіх 30 років спостережень. У динаміці цього знаку відсутні повільні та сезонні рухи [7]. Саме даний репер вибрано в якості вихідного при визначенні характеристик можливої вертикальної динаміки всіх інших реперів на геодезичному полігоні. Координати пунктів були визначені класичним методом – геометричним нівелюванням за допомогою нівеліру Н-05. Сезонні спостереження здійснювалися також з точністю до 0,05 мм. Враховуючи сезонні динамічні рухи (квітень 2021 року), скореговані нормальні висоти пунктів, згідно яких виконували подальші дослідження (табл. 2).

Виконані спостереження базувалися на мережі System.net. Вона складається із активних перманентних станцій, які видають поправки в системі координат УСК-2000 з вказівкою точності результатів вимірювання.

Сервіс при сприятливих умовах дає можливість протягом декількох секунд визначити місцезнаходження з точністю 10-20 мм у плані і 15-30 мм по висоті. Аналізуючи отримані дані, бачимо, що шість вимірів (2-ий, 4-ий, 6-ий, 21-ий, 24-ий і 25-ий) мають більші відхилення – від 0,035 м до 0,210 м. В нашому випадку це 21 % вимірів. Походження таких відхилень – надмірне затінення, що спричиняє затухання при прямому поширенню сигналу через листя дерев. 47 % вимірів – в допустимих межах, проте не є ідеальними для точних геодезичних вимірювань (відхилення становить 1–3 см). І лише 32 % вимірів мають відхилення до 0,01 м [14].

Відхилення при визначенні нормальних висот реперів за допомогою GNSS-приймача наведено на рисунку 1.

Порівняння координат, визначених традиційним методом
і в результаті знімання GNSS приймачем

№ номер рядку	Назва пункту	Висота, м	Середня висота визначена GNSS приймачем, м	Похибка, Δ	Δ ²
1	Rp 7296	148,207	148,231	+0,024	0,0006
2	A 13	148,425	148,215	-0,210	0,0441
3	Rp 2	149,371	149,398	+0,027	0,0007
4	Rp 4	150,071	150,217	+0,146	0,0213
5	Rp 5	150,651	150,661	+0,010	0,0001
6	A 1	149,811	149,918	+0,107	0,0115
7	A 8	150,565	150,557	-0,008	0,0001
8	Rp 9	150,535	150,532	-0,003	0,0000
9	Rp 10	148,473	148,499	+0,026	0,0007
10	Rp 12	146,962	146,937	-0,025	0,0006
11	Rp 13	147,671	147,657	-0,014	0,0002
12	Rp 14	145,967	145,959	-0,008	0,0001
13	A 9	144,368	144,379	+0,011	0,0001
14	Rp 15	144,370	144,341	-0,029	0,0008
15	Rp 16	143,319	143,325	+0,006	0,0000
16	Rp 17	141,269	141,284	+0,015	0,0002
17	A 10	139,009	139,001	-0,008	0,0001
18	Rp 18	139,507	139,512	+0,005	0,0000
19	Rp 19	137,352	137,343	-0,009	0,0001
20	Rp 21	135,597	135,580	-0,017	0,0003
21	Rp 24	134,211	134,246	+0,035	0,0012
22	Rp 23	132,417	132,446	+0,029	0,0008
23	Rp 25	134,432	134,422	-0,010	0,0001
24	Rp 26	135,173	135,107	-0,066	0,0044
25	Rp 28	137,172	137,112	-0,060	0,0036
26	A 11	139,787	139,801	+0,014	0,0002
27	Rp 29	141,074	141,057	-0,017	0,0003
28	Rp 30	139,181	139,186	+0,005	0,0000
			Σ	-0,024	0,0922

Середньоквадратичну похибку одного виміру даного ряду обчислимо за формулою Бесселя

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0922}{28-1}} = 0,058 \text{ м,}$$

де Δ – похибки, n – кількість вимірів.

Граничні значення похибок Δ^{граничне} = 3m = 0,175 м.

Такі результати дають цілісну характеристику використання GNSS-технологій для визначення нормальних висот пунктів.

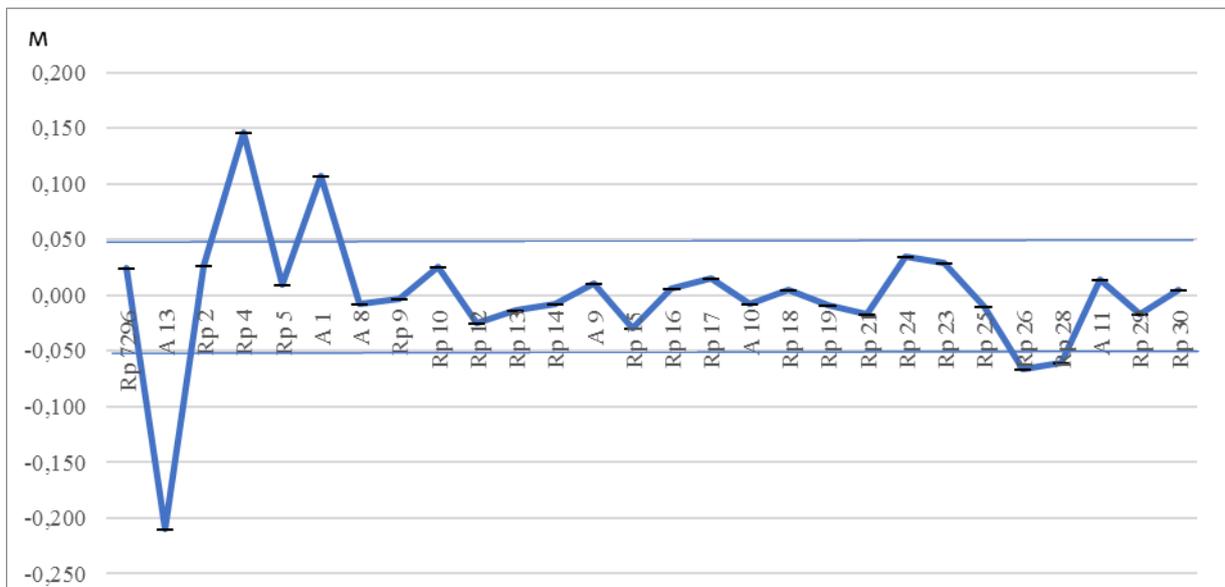


Рис. 1. Відхилення при визначенні нормальних висот реперів за допомогою GNSS-приймача (згідно табл. 2)

Відкинемо «грубі» результати, отримані на точках А 13, Rp 4, А 1, Rp 26, Rp 28, які виникли переважно в результаті надмірного затінення. Отримаємо графік відхилень із середнім трендом в 0,008 м (рис. 2).

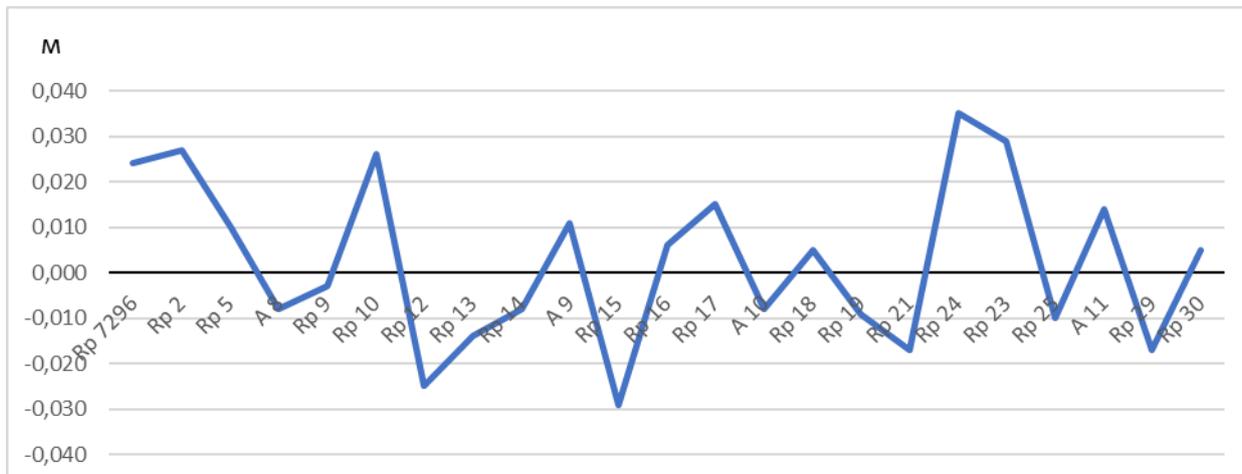


Рис. 2. Відхилення при визначенні нормальних висот реперів за допомогою GNSS-приймача (за виключенням грубих помилок)

В Інструкції з топографічного знімання (п. 1.1.18) [20] зазначено, що середні помилки знімання рельєфу відносно найближчих точок геодезичної основи не повинні перевищувати за висотою: 1/4 прийнятої висоти перерізу рельєфу при кутах нахилу до 2 град.; 1/3 при кутах нахилу від 2 град. до 6 град. для планів масштабів 1:5000, 1:2000 та до 10 град. для планів масштабів 1:1000 та 1:500; 1/3 при перерізі рельєфу через 0,5 м на планах масштабів 1:5000 та 1:2000. У лісовій місцевості ці допуски збільшуються в 1,5 рази. У районах з кутами нахилу понад 6 град. для планів масштабів 1:5000 та 1:2000 та більше 10 град. для планів масштабів 1:1000 та 1:500 кількість горизонталей повинна

відповідати різниці висот, що визначена на перегибах схилів, а середні помилки висот, які визначено на характерних точках рельєфу, не повинні перевищувати 1/3 прийнятої висоти перерізу рельєфу.

Проте такі помилки допустимі лише для топографічного знімання і є завеликими для проведення точних геодезичних вимірювань. Враховуючи вимоги Інструкції з топографічного знімання [20], вертикальну точність приладу в режимі RTK (± 20 мм) та точність роботи сервісу [14] (до 30 мм по висоті), результати досліджень на геодезичному полігоні мають позитивний характер – всі значення містяться в гранично-допустимих межах (рис. 3).

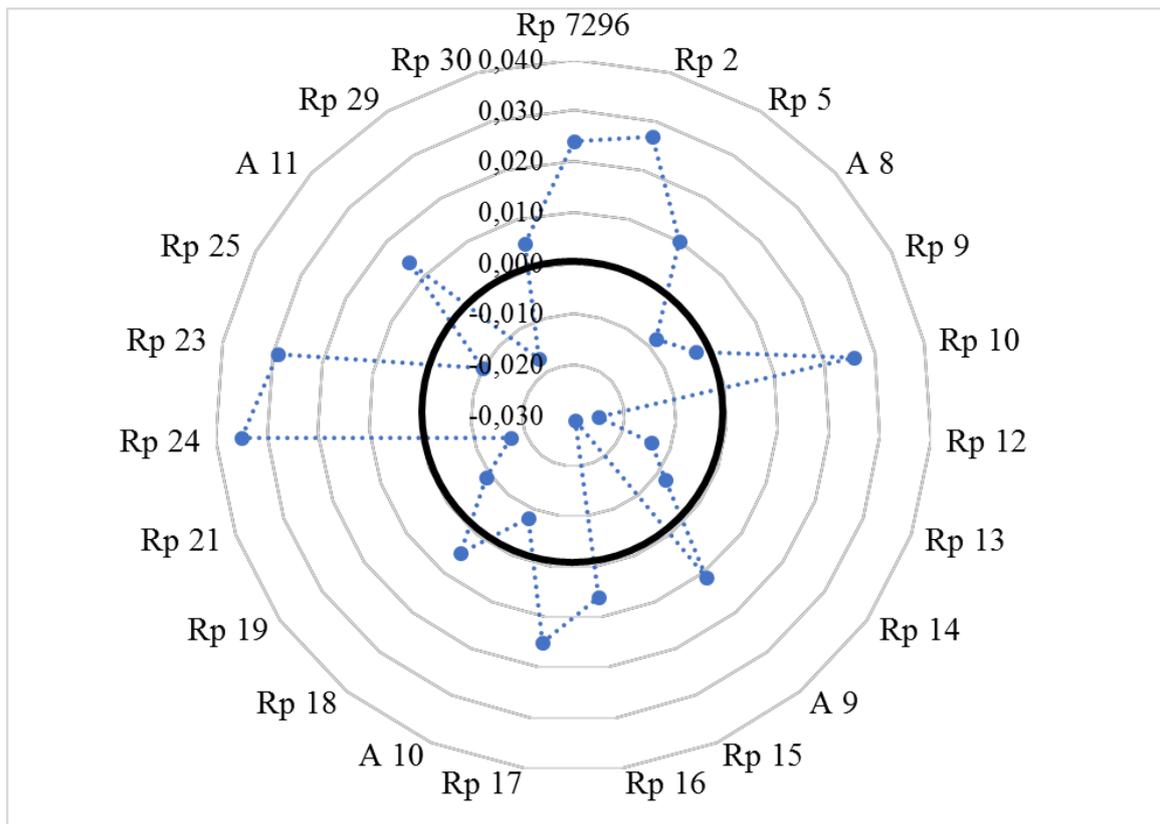


Рис. 3. Кругова діаграма відображення відхилень при визначенні нормальних висот реперів за допомогою GNSS-приймача (за виключенням грубих помилок), м

Висновки. З проведенням земельних реформ в Україні з'явилася необхідність проведення різних геодезичних і землепорядних робіт. Реорганізація земельних структурних одиниць вимагає чіткого розмежування, виготовлення відповідної документації. Сьогоднішній кадастр – це інтегровані бази даних, інформаційні та геоінформаційні технології, цифрові електронні карти, аерофото- та космічні зйомки. Відомості, що надходять до єдиної бази даних вносяться, перевіряються, систематизуються та впорядковуються за єдиними правилами кваліфікованими фахівцями.

На сьогодні майже 60 % землепорядних підрозділів технічно оснащені GNSS приймачами, самотужки, без залучення відповідних фахівців з геодезичних служб, виконують знімання. Як правило, такі прилади без свідцтва про перевірку, основні технологічні вимоги не дотримуються,

відповідно й точність знімання може бути різною. Як показали дослідження, використання GNSS-технологій вимагають кваліфікованого підходу, особливо при визначенні висот пунктів.

Використання мережевого RTK має ряд переваг порівняно з поодинокими базовими станціями: більш висока точність, простота, економічність, швидкість знімання, універсальність, можливість роботи практично в будь-якій точці України. Даною мотивацією керуються переважна більшість геодезистів в Україні. Проте слід виокремити основні технологічні і законодавчі «перепони».

По-перше, головним законодавчим документом в цій сфері є Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500, яка діє з 1999 року. В Інструкції ще не прописана можливість використання для топографічного знімання GPS/GNSS-технологій з RTK-поправками. Згідно наказу Держгеокадастру від 24.11.2020 року №500 розроблено проект Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500, до 17.01.2022 року приймалися пропозиції та зауваження до нього. Новий нормативний документ повинен містити положення щодо використання новітніх геодезичних, в тому числі і супутникових, технологій.

По-друге, слід пам'ятати про допустиму точність отриманих даних. Геометрія конфігурації супутників при такій кількості супутників у зоні видимості (у нашому випадку 8–14) практично не впливає на планове положення точок, але має суттєвий вплив на точність визначення нормальних висот. Тому на сьогодні основним найточнішим методом знаходження висот пунктів є геометричне нівелювання.

По-третє, необхідно дотримуватися інструктивних рекомендацій щодо топографічного знімання на забудованій території. Проведені дослідження показали, що при зніманні GNSS приймачами можуть виникати явища багатопроменевого поширення та затінення. Коли багатопроменевий сигнал відбивається від іншої будівлі чи об'єкта, траєкторія прямого шляху може бути щільно затіненою і приймач може відстежувати тільки багатопроменеві сигнали. Тому найбільш доцільним використанням при топографічному зніманні у населеному пункті є змішаний метод з використанням тахеометра і GNSS приймача.

Зважаючи на те, що вже у найближчому майбутньому методи геодезичного знімання будуть удосконалюватися, змінюватиметься або доповнюватиметься нормативно-інструктивна база, то й подальші дослідження будуть спрямовані на ефективність використання різних методів топографічного знімання.

Список використаних джерел

1. Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референсної системи координат УСК-200 при здійсненні робіт із землеустрою : Наказ № 509 Міністерства Аграрної політики та продовольства України від 02.12.2016 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#Text> (дата звернення: 05.02.2022).

2. Precise point positioning and integrity monitoring with GPS and GLONASS / Alti J., Feng S., Milner C., Schuster W., Ochieng W., Hide C., Moore T., Hill C. // Paper presented at the European Navigation Conference 2011. London. 2011.

3. Українська навігаційна супутникова система: стан і перспективи / Нестеренко С. В., Єрмоленко Д. А., Шефер О. В., Клепко А. В. // Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава: НУПП ім. Ю.В. Кондратюка. 2021. Вип. 3 (65). С. 4-7.

4. Дослідження точності визначення координат GNSS методом у режимі RTK / А. Й. Віват, В. О. Літинський, В. М. Колгунов, І. Я. Покотило // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник. Львів : Видавництво Львівської політехніки. 2011. Вип. 74. С. 52–59.

5. До питання точності GPS – спостережень / С. Савчук, Н. Кабляк, І. Калинич, І. Проданець // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник. Львів : Видавництво Львівської політехніки. 2007. Вип. 68. С. 105–108.

6. Tretyak K., Smoliy K. Modified parameter methods of researching GNSS networks with correlative measurements and systematic errors // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2017. Вип. 2. С. 59-71.

7. Павлик В.Г., Кутний А.М., Нестеренко С.В. Визначення локальних вертикальних рухів перманентної GPS – станції у Полтаві // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Академічна й університетська наука: результати та перспективи». Полтава: НУПП. 10-11.12.2020. С. 141-145.

8. Особливості функціонування Національної кадастрової системи України в умовах реформування галузі / Нестеренко С. В., Шарий Г. І., Щепак В. В., Одарюк Т. С. // Містобудування та територіальне планування. Київ: КНУБА. 2021. С. 182-194.

9. Quesada-Olmo N., Jimenez-Martinez M., Farjas-Abadia M. Real-time high-rise building monitoring system using global navigation satellite system technology. Measurement. Vol. 123. pp. 115–124 (2018).

10. Hwang J., Yun H., Park S.-K., Lee D.H., Hong S. Optimal methods of RTK-GPS/accelerometer integration to monitor the displacement of structures. Vol. 12. pp. 1014–1034 (2012).

11. María Jesús Jiménez-Martínez, Mercedes Farjas-Abadia, Nieves Quesada-Olmo. An Approach to Improving GNSS Positioning Accuracy Using Several GNSS Devices. 2021. Vol. 13. P. 1149.

12. Krasuski K., Ćwiklak J. Application of the DGPS method for the precise positioning of an aircraft in air transport. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2018. Vol. 98, pp. 65-79.

13. Darugna F., Wübbena J., Ito A., Wübbena T., Wübbena G., Schmitz M. RTK and PPP-RTK using smartphones: From short baseline to long-baseline applications. In Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+2019). Miami, FL, USA. 2019. pp. 3932–3945.

14. System Solutions. Офіційний сайт. URL: <https://systemnet.com.ua/> (дата звернення: 05.02.2022).

15. Geo Terrace Network. Офіційний сайт. URL: <https://rtkhub.com/> (дата звернення: 05.02.2022).

16. RTK HUB Network. Офіційний сайт. URL: <https://geoterrace.lpnu.ua/> (дата звернення: 05.02.2022).

17. NGC.NET. ООО НПП «Навігаційно-геодезичний центр». Офіційний сайт. URL: <http://www.ngcnet.com.ua/> (дата звернення: 05.02.2022).

18. UA-EUPOS / ZAKPOS. Мережа референцних GNSS станцій. Офіційний сайт. URL: http://zakpos.zakgeo.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=86 (дата звернення: 05.02.2022).

19. СКНЗУ. Національний центр управління та випробувань космічних засобів. Офіційний сайт. URL: <https://spacecenter.gov.ua/sknzu> (дата звернення: 05.02.2022).

20. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА–2.04–02–98) № 56 від 09.04.98. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>. (дата звернення: 05.02.2022).