

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-236-245

Олексій Терещук

МЕТОДИКА РЕАЛІЗАЦІЇ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ КІНЕМАТИЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПОЛІГОНІВ

Актуальність теми дослідження. Навчально-геодезичні полігони створювалися декілька десятиліть тому для забезпечення проведення навчальних практик студентів, наукових досліджень та відповідали своєму призначенню. Проте із застосуванням сучасних GNSS-приймачів та електронних тахеометрів потреба у модернізації геодезичних мереж згаданих полігонів стала очевидною.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку супутникових технологій координатного забезпечення все більше уваги приділяється досягненню високої точності результатів спостережень. Особливо це стосується проведення GNSS-спостережень на пунктах навчально-геодезичних полігонів, які створювалися тодішніми геодезичними технологіями кілька десятиків років тому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Навчально-геодезичні полігони створювалися на базах навчальних закладів, які мали відповідні ліцензовані напрями підготовки студентів з геодезії, землевпорядкування, будівництва, архітектури, тощо. Розміри та форми згаданих полігонів залежали від багатьох чинників, а в основному, від спроможностей навчального закладу та перспектив його розвитку, ліцензованого обсягу студентів цих напрямів підготовки і т. і. Так, з 1974 року створювалася база навчально-геодезичного полігону «Львівської політехніки», яка надзвичайно вдало розмістилася на мальовничому схилі вздовж Бережанського ставу та займає площу майже 9 га. Бережанський геодезичний полігон об'єднує понад сотню пунктів, які довший час використовувалися у навчальних та наукових цілях і повністю відповідали своєму призначенню. Проте із застосуванням сучасних GNSS-приймачів та електронних тахеометрів гостро постала потреба модернізації геодезичної мережі. Супутникові спостереження на геодезичній мережі полігону виконувалися протягом 1999-2008 рр. різними приладами та різною тривалістю. Подібні полігони з використанням супутникових технологій створювалися у різних місцях і мали за мету також метрологічну атестацію GPS-обладнання [1, 2].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З часу створення мережі навчально-геодезичного полігону ЧНТУ повторні геодезичні спостереження на полігоні не проводилися. Зважаючи на це та з метою модернізації існуючої геодезичної мережі нами були проведені повторні вимірювання та GNSS-спостереження на пунктах планово-висотної мережі навчально-геодезичного полігону ЧНТУ «Фортуна». Так як пункти мережі розташовані у залісеній місцевості, особлива увага приділялася застосуванню та дослідженню супутникових технологій у режимі кінематики реального часу.

Постановка завдання. Головною метою цієї роботи передбачалося модернізувати існуючу мережу навчально-геодезичного полігону Чернівецького національного технологічного університету шляхом прокладання ходів електронної полігонометрії та реалізації сучасної методики супутникових спостережень в режимі кінематики реального часу.

Виклад основного матеріалу. Унікальність розташування геодезичного полігону на території історико-заповідного урочища о. Святого накладало додаткові умови щодо розробки програми спостережень, а саме, при відсутності можливості відмовлення видимостей між суміжними точками мережі компенсувалася закладанням додаткових пунктів. Спостереження на пунктах полігону проводилися в режимі реального часу GNSS – приймачем. Усі розрахунки координат виконувалися у програмному забезпеченні GeoMax X-PAD. Оцінку проекту полігонометричної мережі виконували за допомогою програмного забезпечення CREDO DAT 3.10. Визначення координат пунктів проводилося також шляхом прокладання тахеометричних ходів, при опрацюванні яких відносна похибка планового положення відповідає точності полігонометрії 4 класу. Проаналізовано також результати точності отриманих нами координат в RTK-режимі за критеріями коефіцієнта закритості горизонту.

Висновки. Для даних умов спостережень пунктів геодезичного полігону з унікальною локацією на території заповідника у залісеній місцевості краще використовувати класичні методи координатного забезпечення як такі, що забезпечують надійніші та точніші результати. При цьому точність спостережень в RTK-режимі у цих умовах залишається нижчою.

Ключові слова: полігони; GNSS-технології; тахеометричні ходи.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку супутникових технологій координатного забезпечення все більше уваги приділяється досягненню високої точності результатів спостережень. Особливо це стосується проведення GNSS-спостережень на пунктах навчально-геодезичних полігонів, які створювалися тодішніми геодезичними технологіями кілька десятиків років тому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Навчально-геодезичні полігони здебільшого створювалися на базах навчальних закладів, які мали відповідні ліцензовані напрями підготовки студентів з геодезії, землевпорядкування, будівництва, архітектури тощо. Розміри та форми згаданих полігонів залежали від багатьох чинників, а в основному від спроможностей навчального закладу та перспектив його розвитку, ліцензованого обсягу студентів цих напрямів підготовки і т. ін.

Так, з 1974 року створювалася база навчально-геодезичного полігону «Львівської політехніки», яка надзвичайно вдало розмістилася на мальовничому схилі вздовж Бережанського ставу та займає площу майже 9 га.

Бережанський геодезичний полігон об'єднує понад сотню пунктів, які тривалий час використовувались у навчальних та наукових цілях і повністю відповідали своєму призначенню. Проте із застосуванням сучасних GNSS-приймачів та електронних тахеометрів потреба у модернізації геодезичної мережі стала очевидною.

Супутникові спостереження на геодезичній мережі полігону виконувалися протягом 1999–2008 рр. різними приладами та різною тривалістю. Зазначимо, що подібні полігони з використанням супутникових технологій створювалися у різних місцях і мали за мету метрологічну атестацію GPS-обладнання [1; 3].

При зрівнюванні мереж точність планових координат становила до ± 4 см, а висоти – до ± 7 см, що було неочікуваним результатом. Для покращення якості геодезичної мережі виконані певні переобчислення пунктів, що дало змогу одержати вищу точність та узгодженість результатів вимірів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Продовжуючи і надалі поглиблювати наукові здобутки у напрямку дослідження ефективності застосування супутникових технологій, вдосконалення методик спостережень та їх обробки, науковці Чернігівського національного технологічного університету (до 2014 року ЧДІЕУ) проводили у Північному регіоні України GNSS-кампанії з метою дослідження та аналізу впровадження програмних комплексів обробки даних статичного й кінематичного позиціонування [5; 9]. Врахування впливу різних чинників на точність визначення планових координат [4], дасть можливість виконати дослідження актуальних питань стійкості пунктів як Державної геодезичної мережі (ДГМ), так і пунктів локальних мереж [8; 6] на регіональному рівні для науково-дослідних цілей та точного забезпечення землеустрою і кадастру [11]. Важливим напрямом координатних визначень, у тому числі у Північному регіоні України, є забезпечення функціонування перманентної станції CNIV (Чернігів) протягом останніх десяти років [7].

З часу створення мережі навчально-геодезичного полігону ЧНТУ повторні геодезичні спостереження на полігоні не проводилися. Зважаючи на це та з метою модернізації існуючої геодезичної мережі нами були проведені повторні вимірювання та GNSS-спостереження на пунктах планово-висотної мережі навчально-геодезичного полігону ЧНТУ «Фортуна». Оскільки пункти мережі розташовані у залісеній місцевості, особлива увага приділялася дослідженню супутникових технологій у режимі кінематики реального часу.

З досліджень [10] відомо, що крона деревної рослинності є природною перешкодою на шляху радіонавігаційних сигналів, спричиняючи «закритість» горизонту, багатошляховість поширення сигналу тощо, тим самим негативно впливаючи на ефективну роботу приймачів та зменшуючи точність вимірювань. Для дослідження поставленої задачі у таких несприятливих умовах нами розглядалися наземні та супутникові програми спостережень.

Мета статті. Головною метою цієї роботи передбачалося модернізувати існуючу мережу навчально-геодезичного полігону Чернігівського національного технологічного університету шляхом прокладання ходів електронної полігонометрії та реалізації сучасної методики супутникових спостережень у режимі кінематики реального часу.

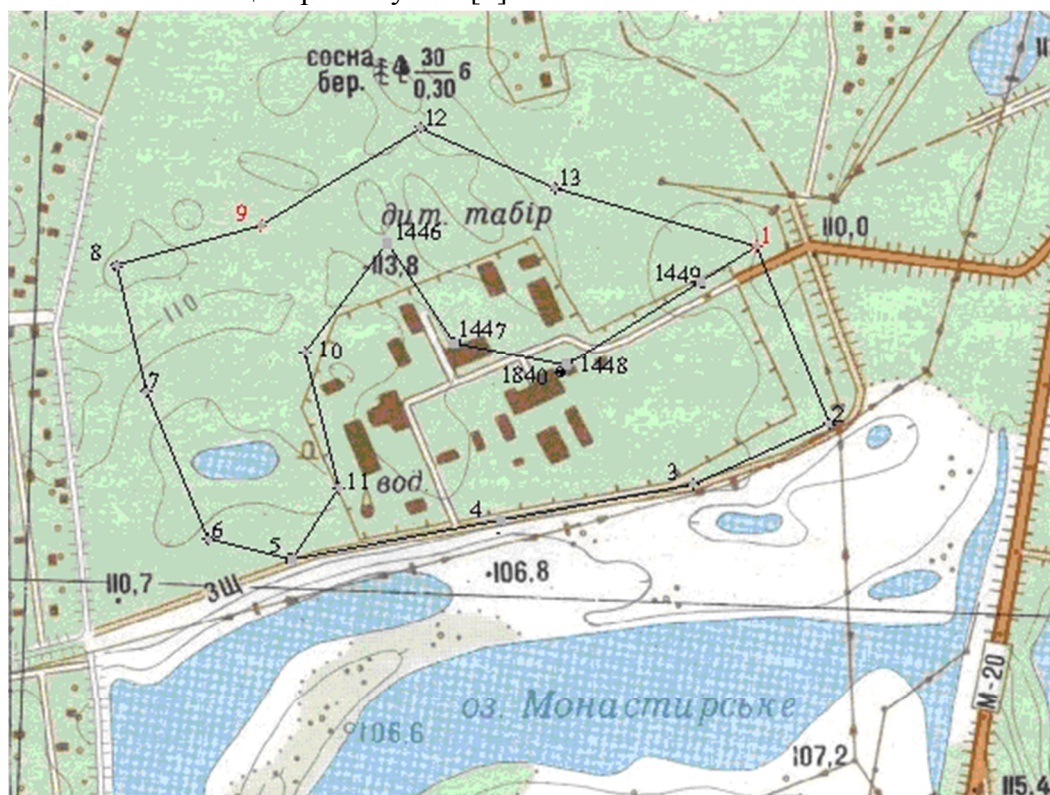
Виклад основного матеріалу. На сьогодні літня геодезична практика для студентів Чернігівського національного технологічного університету за освітніми програмами підготовки і спеціалізаціями геодезія та землеустрій, гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, будівництво та цивільна інженерія, агрономія, лісове і садово-паркове господарство проводиться на навчально-геодезичному полігоні «Фор-

туна», який розташований неподалік міста Чернігова на мальовничій заповідній території урочища біля о. Святе¹.

Урочище являє собою дюнну височину, яка поросла змішаним лісом з могутніх дубів і вікових сосен та знаходиться у заплаві р. Десни між рікою та пригородом Лісковиця. Ця височина не вкривається водою навіть у періоди самих високих паводків.

Навчально-геодезичний полігон створювався у 1999–2001 роках для забезпечення геодезичної практики студентів щойно ліцензованого на той час напряму підготовки «геодезія, картографія та землевпорядкування». Завдяки активному сприянню тодішнього ректора Чернігівського державного інституту економіки і управління Бориса Суховірського і зусиллям працівників інституту, зокрема, старших викладачів Віктора Мовенка зі студентами та Василя Коголя, фахівця «Чернігівводпроекту», випускника геодезичного факультету «Львівської політехніки» 1969 року, був реалізований проект закладки пунктів мережі та проведені перші геодезичні спостереження. За результатами цих спостережень складено каталог координат пунктів навчально-геодезичного полігону в місцевій системі.

Пункти геодезичної мережі утворювали зімкнену геометричну фігуру, що опиралася на чотири пункти полігонометрії IV класу – пп. 1446, 1447, 1448, 1449 (рис. 1) та являли собою монолітні центри типу 160 [2].



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- 1446 ■ - пункт полігонометрії
- 7.5 ✦ - пункт геодезичного полігону
- 7.1 ✦ - зруйнований пункт геодезичного полігону

Рис. 1. Схематичне розташування пунктів навчально-геодезичного полігону станом на 2001 рік

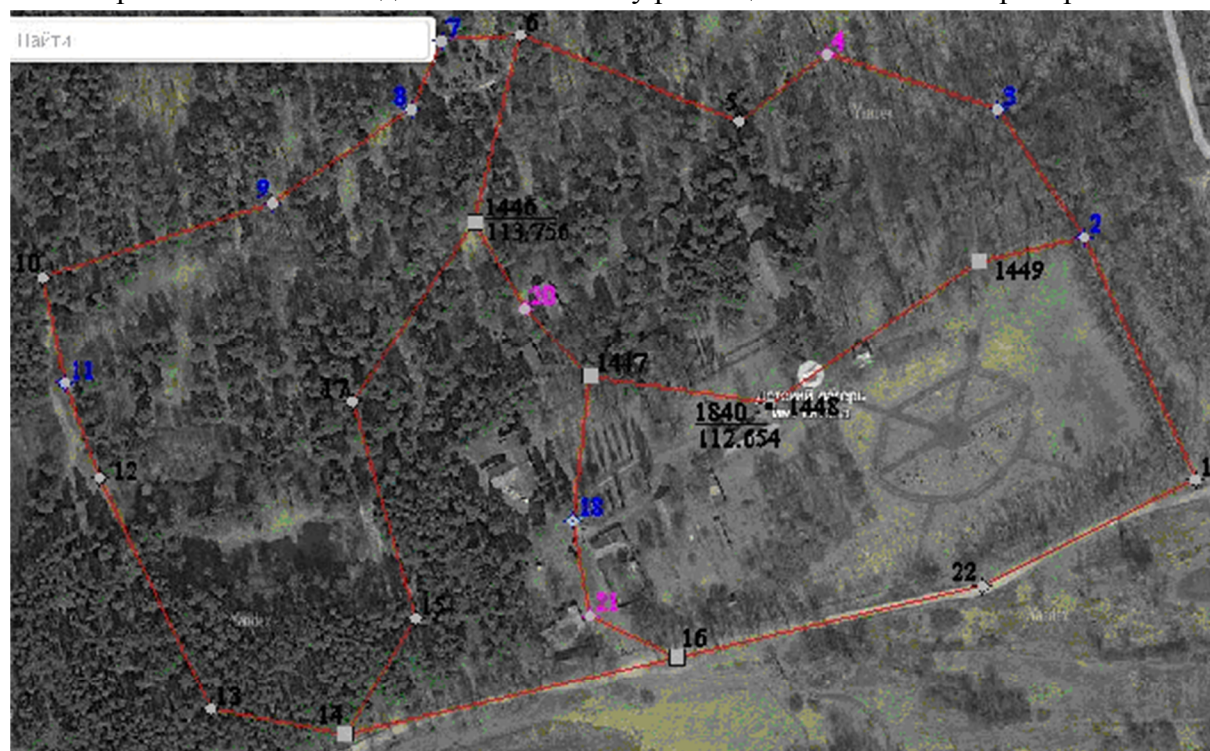
¹ * За існуючими історичними фактами у водах о.Святого в 989 році мешканці Чернігова прийняли святе хрещення. Давні перекази свідчать, що на берегах озера жив Микола Святоша, син князя Давида Святославовича.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Координування точок у місцевій системі координат відбувалося методом полігонометрії 1 розряду з відносною похибкою ходу $\frac{m_s}{S} \approx \frac{1}{10000}$.

У зв'язку з унікальним розташуванням геодезичного полігону на території історико-заповідного урочища о. Святого, перед виконанням полігонометричних робіт у мережі були проведені підготовчі роботи, суть яких полягала в наступному.

З часу створення мережі навчально-геодезичного полігону минуло більше 17 років. Закономірно, що видимості між суміжними пунктами відтоді сильно заросли, а прочистка просік не виконувалася. Відсутність можливостей відновлення видимостей між суміжними точками мережі компенсувалася закладанням додаткових пунктів. Оновлена мережа з додатковими пунктами показана на космоснімку (рис. 2), де видно, що усі пункти мережі навчально-геодезичного полігону розміщені на залісеній території.



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- 1446 ■ - вихідний пункт полігонометрії
- T.5 ✦ - пункт геодезичного полігону
- T.11 ✦ - відновлений та перезакладений пункт геодезичного полігону
- T.21 ✦ - тимчасовий пункт геодезичного полігону

Рис. 2. Схематичне розташування пунктів полігону станом на 2017 р.

Зауважимо, що у заповідній зоні рекогностування пунктів у поєднанні з геодезичними спостереженнями справа дуже відповідальна та важлива, яку, серед інших, успішно реалізували викладачі кафедри та виконавці наукового магістерського проекту – випускники інженерно-будівельного факультету О. Котченко та Г. Седневець.

Постановка спостережень. Перед проведенням спостережень виконувалися метрологічні перевірки приладів щодо їх придатності до роботи та відповідності технічним характеристикам.

Спостереження проводились у квітні 2016 року в режимі реального часу GNSS-приймачем GeoMax GNSS Zenith 10/20 (№ GMZ103640003) на пунктах полігону. Як координатну основу використовували мережу перманентних супутникових GNSS-станцій System NET. Положення базових станцій визначені в системі координат УСК-2000 та мають жорсткі зв'язки з пунктами Української перманентної GNSS-мережі.

Детальний опис подібної технології виконання супутникових спостережень подано в [8].

Розрахунок RTK-поправок виконувався за допомогою програмного комплексу Leica GNSS Spider v4.3, який встановлений на сервері мережі System NET. Максимальна довжина базової лінії становила 22 км.

Визначення координат пунктів мережі базових станцій навчально-геодезичного полігону виконані у плоскій прямокутній системі координат СК-63-4. Перехід від міжнародної системи координат IGS-08 до СК-63-4 виконувався за допомогою цифрової моделі трансформаційного поля, яка розроблена Науково-дослідним інститутом геодезії і картографії.

За результатами геодезичних вимірів були визначені координати точок мережі в системі координат УСК 2000. Усі розрахунки координат виконувались у програмному забезпеченні GeoMax X-PAD.

Оцінювання проекту полігонометричної мережі виконували за допомогою відповідного програмного забезпечення CREDO DAT 3.10. Під час опрацювання тахеометричних ходів у полігоні отримана середня відносна похибка планового положення пунктів $\left(\frac{m_s}{S}\right)_{сер} = \frac{1}{28500}$, що повністю відповідає точності полігонометрії 4 класу.

Нами також проаналізовані вимірювання в RTK-режимі в системі координат УСК-2000 і СК-63 та проведено їх порівняння з класичними методами визначення координат шляхом прокладання тахеометричного ходу.

Для цього запишемо dX, dY та dH , отриманих як різниці визначених координат у СК-63 і УСК-2000 шляхом прокладання тахеометричного ходів та із GNSS-спостережень на пунктах полігону в режимі кінематичного позиціонування RTK

$$\begin{aligned} dX_i &= (X_i)_{СК-63}^{max} - (X_i)_{СК-63}^{RTK} \\ dY_i &= (Y_i)_{СК-63}^{max} - (Y_i)_{СК-63}^{RTK} \\ dH_i &= (H_i)_{СК-63}^{max} - (H_i)_{СК-63}^{RTK} \end{aligned} \quad (1)$$

та

$$\begin{aligned} dX_j &= (X_j)_{УСК2000}^{max} - (X_j)_{УСК2000}^{RTK} \\ dY_j &= (Y_j)_{УСК2000}^{max} - (Y_j)_{УСК2000}^{RTK} \\ dH_j &= (H_j)_{УСК2000}^{max} - (H_j)_{УСК2000}^{RTK} \end{aligned}$$

де dX_i, dY_i, dH_i – різниці значень координат та висот пунктів полігону в СК-63 між визначеними шляхом прокладання тахеометричних ходів та зі спостережень супутниковим GNSS-приймачем;

dX_j, dY_j, dH_j – те ж саме, тільки в УСК-2000.

Результати опрацювання спостережень, що наведені у табл. 1, показали, що висока рослинність негативно впливала на якість сигналу, оскільки полігон розташовувався на залісеній території заповідника, про що свідчать максимальні значення координатних відхилень.

$$\begin{aligned} dX_{УСК2000} &= 0,094 \text{ м}, & dX_{СК-63} &= -0,159 \text{ м}, \\ dY_{УСК2000} &= 0,079 \text{ м}, & dY_{СК-63} &= 0,188 \text{ м}. \end{aligned}$$

Таблиця 1

Точність визначення координат пунктів мережі у СК-63 та УСК-2000

Пункти	Точність координат у системі (СК-63)			Точність координат у системі (УСК-2000)		
	dX_i	dY_i	dH_i	dX_j	dY_j	dH_j
PP1446	-0,003	0,038	-1,000	-0,092	-0,047	-1,054
PP1447	0,031	0,022	-1,000	-0,057	-0,024	-1,041
PP1448	0,074	-0,049	-1,111	-0,004	-0,023	-1,018
PP1449	0,029	0,091	-1,009	-0,015	-0,063	-1,095
1	-0,122	0,188	-1,020	0,008	-0,079	-1,104
2	0,000	-0,014	-1,145	-0,024	-0,072	-1,149
3	-0,030	0,000	-1,150	-0,013	-0,048	-1,174
4	-0,024	0,000	-1,036	-0,039	-0,070	-1,017
5	-0,016	0,001	-1,032	-0,064	-0,045	-1,052
6	-0,007	0,112	-1,523	-0,040	-0,057	-1,130
7	-0,083	-0,032	-0,985	-0,083	-0,029	-1,069
8	-0,070	-0,041	-1,064	-0,082	-0,022	-1,063
9	-0,082	-0,029	-1,042	-0,090	0,001	-1,045
10	-0,061	-0,005	-1,010	-0,094	0,013	-1,052
11	-0,062	-0,014	-1,110	-0,089	0,025	-1,067
12	-0,071	0,001	-1,009	-0,064	0,019	-1,102
13	-0,106	0,031	-1,003	-0,035	0,025	-1,058
14	-0,093	0,019	-1,003	0,000	0,000	-1,128
15	-0,152	-0,021	-1,205	-0,044	0,000	-1,088
16	-0,117	0,097	-0,987	0,000	0,000	-1,072
17	-0,159	-0,039	-0,999	-0,058	0,002	-1,127
18	-0,001	-0,001	-1,044	-0,017	0,016	-1,096
20	-0,030	-0,075	-1,058	-0,055	-0,038	-1,077
21	-0,007	0,018	-1,044	-0,012	0,023	-1,037
22	-0,120	0,143	-1,018	0,013	-0,029	-1,084

Проаналізуємо також результати точності отриманих нами координат у RTK-режимі за критеріями коефіцієнта закритості горизонту, наведеними в [10] та скористаємося формулою

$$k_{закр} = \sum_{i=1}^{360} \sin^3 \nu. \quad (2)$$

Прийmemo критерій підходу до коефіцієнта закритості горизонту на залісеній території таким як на забудованій та розрахуємо коефіцієнт для кутів відсікання від 40° до 70°, які мали місце при спостереженнях пунктів полігону. Орієнтовну точність планового положення пунктів $\delta_{СЕР}$ в [10] представлено такими показниками, як Circular Error Probable (СЕР) при 95 % довірчій імовірності залежно від значення коефіцієнта закритості горизонту та тривалості спостереження на пункті до двох хвилин.

Тривалість наших спостережень була менше двох хвилин. Далі за формулою

$$\delta_{Обч} = \sqrt{dX_i^2 + dY_i^2}$$

нами виконані обчислення точності планового положення пунктів мережі у системі координат СК-63, враховуючи $k_{закр}$, а дані цих розрахунків зведені у таблиці 2.

Орієнтовна точність планового положення пунктів, мм

$K_{закр}$	Кути відсікання	Точність показника Circular Error Probable $\delta_{СЕР}$, м	Точність, отримана з польових вимірів $\delta_{ОБЧ}$, м
95,6	40°	0,027	0,040
161,8	50°	0,097	0,129
233,8	60°	0,161	0,195
298,7	70°	0,161	0,242

Аналізуючи табличні значення, зауважуємо закономірність залежності точності положення пунктів полігону від коефіцієнта закритості горизонту. Вбачається, що при кутах відсікання до 40° орієнтовна точність координатного визначення сягає до 4 см, при більших значеннях кутів відсікання – точність, відповідно, погіршується і становить майже 25 см. На нашу думку, в табл. 2 розрахункові дані $\delta_{ОБЧ}$ більші, ніж $\delta_{СЕР}$ з причини різниці у тривалості їх спостережень та довжини базової лінії.

Висновки. На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що при реалізації методики супутникових спостережень пунктів навчально-геодезичного полігону в режимі реального часу в залісеній місцевості відносна похибка положення пунктів мережі $\left(\frac{m_s}{S}\right)_{РТК} \approx \frac{1}{10000}$ співрозмірна з першочерговою, яка мала місце ще при створенні

полігону у 2001 році, а саме $\frac{1}{10000}$. Такі отримані результати можуть претендувати лише для забезпечення точності розрядних мереж кадастрових знімачів.

Зауважимо також, що отримана точність GPS-спостережень за критеріями коефіцієнта закритості горизонту з кутами відсічки до 70° непогано корелюється з результатами досліджень інших дослідників-науковців.

Зважаючи на величини максимальних відхилень у різних системах координат та відносну похибку планового положення пунктів при прокладанні ходів електронної полігонометрії, яка в середньому становила $\left(\frac{m_s}{S}\right)_{maxeom} = \frac{1}{28500}$, констатуємо, що точність

координатного забезпечення пунктів навчально-геодезичного полігону при повторних вимірюваннях становить вище рівня точності полігонометрії 4 класу. Тобто для таких умов спостережень пунктів геодезичного полігону з унікальною локацією на території заповідника у залісеній місцевості краще використовувати класичні методи координатного забезпечення як такі, що забезпечують надійніші та точніші результати. При цьому точність спостережень у РТК-режимі у цих умовах залишається нижчою.

У подальших дослідженнях намагатимемося максимально врахувати та мінімізувати відповідні фактори для підвищення точності координатного забезпечення пунктів навчально-геодезичного полігону як одного з унікальних за розташуванням.

Список використаних джерел

1. *Еталонний геодезичний полігон для метрологічного контролю приймачів супутникових сигналів / Тревого І., Савчук С., Цюпак І. та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – Вип. І (15). – С. 55-60.*
2. *Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 // (ГКНТА-2.04-02-98).*
3. *Науковий геодезичний полігон для метрологічної атестації геодезичних приладів та технологій / Тревого І., Савчук С., Денисов О., Дзуліт П., Глотов В., Волчко П. // Сучасні досяг-*

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

нення геодезичної науки та виробництв. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. – С. 33–43.

4. *Практичні дослідження точності визначення координат супутниковими технологіями у реальному часі* / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторьяк. // *Інженерна геодезія*. – 2014. – № 61. – С. 58–77.

5. *Предварительные результаты GNSS-наблюдений на пунктах геодезической сети Северного региона Украины* / А. Терещук, И. Нисторьяк, А. Жалило, А. Желанов // *Вестник СГГА (Сибирской государственной геодезической академии)*. – 2014. – Вып. 4 (28). – С. 29–38.

6. *Терещук О. І. Відновлення міських мереж згущення сучасними супутниковими технологіями* / О. Терещук, І. Нисторьяк, Р. Шульц // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2015. – Вип. 82. – С. 59–72.

7. *Терещук О. І. Досвід функціонування перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV) у мережі EPN* / О. Терещук, І. Нисторьяк // *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 130–140.

8. *Терещук О.І. Методика та дослідження кінематичних визначень координат різними GNSS-приймачами* / О. І. Терещук // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – 2014. – Вип. 80. – С. 48–61.

9. *Терещук О. Попередні результати та аналіз GNSS-спостережень на Чернігівщині* / О. Терещук, І. Нисторьяк // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2013. – Вип. II (26). – С. 58–61.

10. *Янчук О.Є. Попереднє оцінювання впливу обмеженої видимості горизонту на точність GPS-спостережень* / *Вісник геодезії та картографії*// Вип.№4 (67), 2010 - с.3-7.

11. *Tereshchuk O. Efficiency of application of satellite technology when performing land and cadastral works in settlements* / O. Tereshchuk, I. Nystoriak // *Geodesy, cartography and aerial photography*. – 2016. – Issue 84. – Pp. 90–100.

References

1. Trevoho, I., Savchuk, S., Tsiupak, I. (2008). Etalonnyi heodezychnyi polihon dlia metrolohichnoho kontroliu pryimachiv suputnykovykh syhnaliv [Reference geodesic polygon for metrological control of the satellite signals]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstv – Recent advances in geodetic science and industry*, pp. 55–60 (in Ukrainian).

2. Instruktisiia z topohrafichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 [An outline of the topographic record on scales of 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 and 1: 500]. (HKNTA-2.04-02-98) (in Ukrainian).

3. Trevoho, I., Savchuk, S., Denysov, O., Dvulit, P., Hlotov, V., Volchko, P. (2005). Naukovyi heodezychnyi polihon dlia metrolohichnoi atestatsii heodezychnykh pryladiv ta tekhnolohii [Scientific geodesic polygon for metrological certification geodetic instruments and technologies]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstv – Recent advances in geodetic science and industry*, pp. 33–43 (in Ukrainian).

4. Shults, R., Tereshchuk, O., Nystoriak, I., Annenkov, A. (2014). Praktychni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat suputnykovykh tekhnolohiiamy u realnomu chasi [Practical study the accuracy of satellite technologies coordinates in real time]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering surveying*, no. 61, pp. 58–77 (in Ukrainian).

5. Tereshchuk, A., Nystoriak, I., Zhalylo, A., Zhelanov, A. (2014). Predvaritelnye rezultaty GNSS-nabliudenii na punktakh heodezicheskoi seti Severnogo rehiona Ukrainy chasi [Preliminary results of GNSS observations at points of the geodetic network of the Northern Region of Ukraine]. *Vestnyk SHHA (Sibirskoi hosudarstvennoi heodezicheskoi akademii) – Bulletin of the Siberian State Geodetic Academy*, issue 4 (28), pp. 29–38 (in Russian).

6. Tereshchuk, O., Nystoriak, I., Shults, R. (2015). Vidnovlennia miskykh merezh zghushchennia suchasnymy suputnykovykh tekhnolohiiamy [Restoration of urban networks thickening modern satellite technology]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, issue 82, pp. 59–72 (in Ukrainian).

7. Tereshchuk, O., Nystoriak, I. (2015). Dosvid funktsionuvannia permanentnoi GNSS-stantsii «Chernihiv» (CNIV) u merezhi EPN [The experience of permanent GNSS-station "Chernihiv" (CNIV) network EPN]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia* :

Tekhnichni nauky – Journal of Chernihiv State Technological University. Series: Engineering, no. 1, pp. 130–140 (in Ukrainian).

8. Tereshchuk, O. (2014). *Metodyka ta doslidzhennia kinematychnykh vyznachen koordynat riznykh GNSS-pryimachamy* [Methodology and definitions kinematic study coordinates the various GNSS-receivers]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, issue 80, pp. 48–61 (in Ukrainian).

9. Tereshchuk, O., Nystoriak, I. (2013). *Poperedni rezultaty ta analiz GNSS-sposterezhen na Chernihivshchyni* [Preliminary results and analysis of GNSS-observations in Chernihiv]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Recent advances in geodetic science and industry*. Issue II (26), pp. 58–61 (in Ukrainian).

10. Yanchuk, O.Ie. (2010). *Poperednie otsiniuvannia vplyvu obmezhenoi vydymosti horyzontu na tochnist GRS-sposterezhen* [Preliminary evaluation of the impact of reduced visibility horizon for accuracy GRS observations]. *Visnyk heodezii ta kartohrafiu – Journal of Geodesy and Cartography*, issue 4 (67), pp. 3–7 (in Ukrainian).

11. Tereshchuk, O., Nystoriak, I. (2016). *Efficiency of application of satellite technology when performing land and cadastral works in settlements*. *Geodesy, cartography and aerial photography*, issue 84, pp. 90–100.

Oleksiy Tereshchuk

METHODS OF IMPLEMENTATION OF SATELLITE TECHNOLOGY OF KINEMATIC POSITIONING FOR GEODETIC POLIGONS

Urgency of the research. *Training geodesic polygons were created several decades ago to ensure practical training of students, scientific researches and consistent with its purpose. However, after starting the use of modern GNSS receivers and electronic tacheometers the need for modernization of geodetic networks of the mentioned landfills became apparent.*

Target setting. *At the present stage of development of satellite technologies of coordinate ensuring more attention is paid to the achievement of high accuracy of observations. This is especially true for GNSS-observations of teaching points and geodetic polygons, which were created by up to that time surveying technology decades ago.*

Actual scientific researches and issues analysis. *Training geodesic polygons were created on the bases of educational institutions that had the appropriate licensed areas of training students of geodesy, land management, construction, architecture etc. The size and shape of mentioned polygons depends on many factors, but primarily on the ability of the institution and the prospects of its development, the licensed number of students of these training areas etc. Thus, in 1974 a framework of educational and geodesic polygon "Lviv Polytechnic" was created, which was extremely well placed on the picturesque slopes along Berezhansky pond and covers an area of 9 hectares. Berezhansky geodesic polygon includes more than a hundred items which have been longer used in educational and scientific purposes and fully consistent with its purpose. However, using modern GNSS-receivers, total stations and electronic acute requires modernization of the geodetic network. Satellite observations in geodetic network landfill complied with for 1999-2008 years various devices and different duration. Similar polygons using satellite technology were established in different places and had a goal and metrological certification of GPS-equipment [1, 2].*

Uninvestigated parts of general matters defining. *Since the creation of the network of the training and geodesic landfill of the ChNTU, there have been no repeated geodetic observations at the landfill. Taking into account this and in order to modernize the existing geodetic network, we carried out repeated measurements and GNSS observation at the points of the planned high-altitude network of the training and geodesic landfill of the ChNTU "Fortuna". Since the network points are located in the forested area, particular attention was paid to the application and research of satellite technologies in the mode of real-time kinematics.*

The research objective. *The main aim of this work was supposed to modernize the existing network of educational and geodesic polygon of Chernihiv National Technological University in way by laying polygonometry and implement modern methods of satellite observations in real-time kinematics mode.*

The statement of basic materials. *The uniqueness of the location of a geodetic polygon on the territory of the historic reserve tract of about Svyatogo Island provided additional conditions for the development of a program of observations, namely, in the absence of the possibility of restoring the visibility between adjacent points of the network compensated by the laying of additional points. Observations at the points of the landfill were conducted in real time with the GNSS-receiver. All coordinate calculations were performed in the GeoMax X-PAD software. The polygon network was evaluated using the CREDO DAT 3.10 software. The determination of the coordinates of the points was also carried out by laying the tacheometric moves, in the course of which the relative error of the planned position corresponds to the accuracy of grade 4 polygonometry. The results of the accuracy of the coordinates obtained by us in the RTK-mode according to the criteria of the closure coefficient of the horizon are also analyzed.*

Conclusions. *For these conditions, observation points geodesic polygon with a unique location on the reserve in the forested areas make better use of classical methods such as coordinate software, providing accurate and reliable results. The accuracy of observations in RTK - mode in these conditions is lower.*

Key words: *polygons; GNSS-technology; tacheometric moves.*

Алексей Терещук

**МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КИНЕМАТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ**

Работа посвящена решению вопросов модернизации учебно-геодезического полигона Черниговского национального технологического университета путем внедрения спутниковых технологий кинематического позиционирования и проложения ходов электронной тахеометрии.

Ключевые слова: полигоны; GNSS-технологии; тахеометрические ходы.

Терещук Олексій Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, декан інженерно-будівельного факультету навчально-наукового інституту технологій Чернігівського національного технологічного університету (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Терещук Алексей Иванович – кандидат технических наук, профессор кафедры геодезии, картографии и землеустройства, декан инженерно-строительного факультета учебно-научного института технологий Черниговского национального технологического университета (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Tereshchuk Oleksiy – PhD in Technical Sciences, Professor of Geodesy, Cartography and Land Management, Dean of the Faculty of Civil Engineering research institute of technology Chernihiv National Technological University (Shevchenko Str., 95, Chernihiv 14027, Ukraine).

E-mail: olexter1957@gmail.com

ORCID: orcid.org/0000-0001-6433-9351

ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/H-4540-2016>

Google Scholar:

https://scholar.google.com.ua/citations?user=vZtF4YIAAAAJ&hl=uk&citsig=AMstHGRJW5NzJv81Vio_Xp9rgjtO_Wm2GA

Indexcopernicus: <http://journals.indexcopernicus.com/+++p24781806,3.html>