

НОВІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ЯВОРІВСЬКОМУ НАУКОВОМУ ГЕОДЕЗИЧНОМУ ПОЛІГОНІ

І. Тревого, І. Цюпак, Б. Паляниця

Національний університет “Львівська політехніка”

В. Волошин

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки

Ключові слова: метрологічна атестація, GNSS виміри, GNSS нівелювання, еталонний лінійний базис, фундаментальна геодезична мережа.

Постановка проблеми

Виконання одного з основних завдань геодезичної метрології – забезпечення єдності вимірювань – покладається, здебільшого, на робочі еталони. До таких еталонів належать еталонні лінійні базиси і фундаментальні геодезичні мережі 1–2 розрядів. Єдність вимірювань забезпечується контролем одиниці довжини за середніми квадратичними похибками (СКП) вимірювань засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) на робочих еталонах. Точність сучасних геодезичних віддалемірів зростає, вони, як правило, є лазерними з високою стабільністю частоти електромагнітної хвилі. Ця характеристика притаманна і GNSS приймачам. Вимірювання відбуваються у просторі, де геометрична відстань між двома пунктами спотворюється через зміну швидкості електромагнітної хвилі та викривлення променя. Тому точність поправок за вплив середовища на лазерний промінь повинна відповідати точності ЗВТ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасними геодезичними ЗВТ для вимірювань довжини ліній є електронні тахеометри та GNSS приймачі [8]. Останні застосовуються для непрямих вимірювань. Відомо [14], що вимірювання поділяються на прямі, непрямі (посередні), сумісні й сукупні. Нівелювання – це також лінійні вимірювання, але у вертикальній площині (у напрямі силової лінії гравітаційного поля або прямої висоти). Основним методом для визначення перевищень (висот) у геодезії є геометричне нівелювання, під час якого контроль одиниці довжини виконується через компарування нівелірних рейок, яке здійснюють на компараторах у лабораторних умовах. Також на спеціальних екзаментах калібрують GNSS приймачі та їх антени (зміщення фазового центра).

Після виникнення GPS і можливості визначати висоти пунктів або перевищення між пунктами за непрямыми вимірами атестувати необхідно не тільки самі ЗВТ (GNSS приймачі), але й методику визначення висот, особливо нормальних або ортометричних. Метрологічна атестація методів і методик геодезичних вимірювань також належить до завдань геодезичної метрології [14]. Точність визначення геодезичних висот

(по нормалі до еліпсоїда) за допомогою GNSS технології залежить, передусім, від точності GNSS приймача і тривалості сесії спостережень [18].

Тестування GNSS приймачів сьогодні виконується переважно на еталонних лінійних базисах [8]. Їх використовують, здебільшого, для тестування лазерних віддалемірів, електронних тахеометрів, для яких достатніми вважаються еталонні базиси завдовжки 1,3–2,0 км або навіть 864 м [23]. Для атестації ЗВТ, призначених для вимірювання великих довжин ліній, в Україні є еталон у ННЦ “Інститут метрології”, довжина якого 5 км [8]. Приймачі GNSS використовують для визначень координат пунктів (відстаней і висот) найчастіше на відстанях до 10–20 км, або й більших. Тому, на наш погляд, для тестування GNSS приймачів і, особливо, для контролю точності методики GNSS нівелювання краще застосовувати фундаментальні геодезичні мережі, розвинені методом GNSS, у яких пункти мають визначені нормальні висоти з геометричного нівелювання II класу [18]. Такі пункти стають реперними точками, в яких можна контролювати точність методики GNSS нівелювання. Варто на території полігона мати один–два гравіметричні пункти і результати гравіметричного знімання [5].

Отже, робочі еталони для тестування геодезичних ЗВТ для лінійних вимірювань та методів і методик вимірювань повинні забезпечувати тестування лінійних вимірювань у горизонтальній і вертикальній площинах.

Постановка завдання

У роботі на основі результатів досліджень, виконаних в експедиціях на робочих еталонах (еталонному лінійному базисі та фундаментальній геодезичній мережі) Яворівського наукового геодезичного полігона (НГП), оцінимо точність їхнього метрологічного забезпечення. Для цього аналізуються:

- вплив гравітації (кривини Землі) й атмосферної рефракції на вимірювання довжин ліній електронними тахеометрами;
- точність метрологічної атестації довжин ліній еталонного лінійного базису технологією GNSS;
- швидкості зміни координат пунктів фундаментальної геодезичної мережі, визначених за результатами GPS спостережень за 2005–2013 рр.;
- результати GNSS нівелювання пунктів еталонного лінійного базису і фундаментальної геодезичної мережі.

Виклад основного матеріалу

1. Метрологічна атестація еталонного лінійного базису електронними тахеометрами

Довжина еталонного лінійного базису Яворівського НГП 2260 м. Упродовж 2003–2013 рр. метрологічну атестацію еталонного базису виконували 17 разів, з них 11 віддалемірами: прецизійним лазерним віддалеміром ПЛД-1М [8] і атестованими високоточними електронними тахеометрами (табл. 1).

Таблиця 1

Метрологічна атестація еталонного лінійного базису віддалемірами у 2003–2013 рр.

Рік вимірювань	Прилади
2003	ПЛД-1М, лазерний віддалемір
2006	ET Trimble 5601 DR-Standard
2007	ET Trimble 5601 DR-Standard
2009	ET Leica TCR1201+R400
2011	ET Leica TM 30R
2011	ET Trimble S8
2012	ET Leica TM 30R
2012	ET Trimble S8
2013	ET Leica TCR1201 (02.07.2013)
2013	ET Trimble S8 (17.07.2013)
2013	ET Trimble S8 (12.12.2013)

Віддалемір ПЛД-1М – це ЗВТ підвищеної точності, яким виконано атестацію ліній еталонного базису із СКП 0,2–0,5 мм. Тому ці значення ліній базису приймемо за еталонні й усі наступні метрологічні атестації еталонного лінійного базису порівнюватимемо, передусім, із ними. В табл. 2 наведено основні характеристики метрологічних атестацій еталонного лінійного базису електронними тахеометрами (m – середнє квадратичне відхилення).

Таблиця 2

Результати метрологічних атестацій ліній базису електронними тахеометрами порівняно з еталонними

Рік	Електронний тахеометр	Середнє, мм	К-ть ліній	m , мм
2006	Trimble 5601DR	-0,55	15	0,75
2007	Trimble 5601DR	-0,75	15	0,93
2009	Leica TCR1201	-0,57	18	0,93
2011	Leica TM30	-0,68	17	1,48
2011	Trimble S8	0,09	17	1,41
2012	Trimble S8	0,36	5	2,48
2013	Leica TCR1201	0,25	8	1,63
2013	Trimble S8	-1,51	16	1,92
2013	Trimble S8	-0,53	16	1,16

З аналізу довжин ліній еталонного базису, виміряних електронними тахеометрами, а отже, з використанням для моделювання впливу атмосфери, середньої рефракції та кривини Землі приблизно однакової точності формул, отримуємо різниці у виміряних лініях до 1 мм, навіть, для довгих ліній (~2 км). Порівнявши довжини ліній, виміряних електронними тахеомет-

рами, з їхніми еталонними значеннями, отримуємо збільшення похибки пропорційно до довжини лінії, починаючи від 130 м, і для лінії завдовжки 2260 м похибка може удвічі перевищувати ту, яка зазначена в інструкції. У табл. 2 СКП m мають більші значення через похибки у лініях, які перевищують 1 км. Для сучасних лазерних віддалемірів похибка дрейфу частоти сигналу не повинна перевищувати заданої у рівнянні регресії для цього приладу. Крім цього, для метрологічної атестації еталонного базису електронні тахеометри були атестовані на вторинному еталоні одиниці довжини ВЕТУ 01-03-02-98 [11]. Під час еталонування вимірювалася температура повітря вздовж шляху променя з інтервалом 50 м і застосовувалася інтегральна формула для розрахунку поправки за рефракцію [8]. Якщо ж під час вимірювання віддалі температура фіксується тільки у початковому пункті, то виміряти довжину лінії близько 1 км і більшу із заданою точністю неможливо. Для атестації еталонного лінійного базису запропоновано [17] алгоритм оцінювання похибок атмосферної поправки у довжини виміряних ліній базису за порівнянням чотирьох виміряних ліній з еталонними. Але у разі вимірювання довжин ліній у польових умовах виправити похибку обчисленої поправки за вплив атмосфери неможливо. Однак її можна суттєво зменшити, якщо вимірювати температуру повітря для ліній, більших за 500 м, у кінцевих пунктах лінії та розраховувати поправку як середнє з поправок, обчислених за двох значень температури.

Зазначимо, що під час точних вимірювань ліній, більших за 500–600 м, також необхідно враховувати поправку за середню рефракцію і кривину Землі. За змістом поправка за кривину Землі – це поправка за вплив гравітаційного поля Землі на лазерний чи світловий промінь (фотони чи електромагнітну хвилю). Притягання гравітацією Землі оптичного променя між пунктами викривляє його. Це впливає на відстань між пунктами, видовжуючи геометричний шлях променя, а також на відлік з рейки під час нівелювання, зменшуючи його. Одночасно з цим явищем діє інше, викликане неперервним добовим обертанням Землі, яке закручує атмосферу у напрямку обертання Землі й одночасно спричиняє її відцентровий рух, який проявляється у припідніманні променя над Землею. Це викривлення променя називають середньою рефракцією. Ці два явища діють одночасно і неперервно. Враховуючи вікове сповільнення кутової швидкості обертання Землі через кінематично-гравітаційну (кінематично-динамічну) взаємодію тіл Землі й Місяця, стала середньої рефракції повинна перманентно повільно зменшуватися. Для прикладу, сучасне значення коефіцієнта атмосферної рефракції $k = 0,14$ [6], а у XIX сторіччі приймали значення $k = 0,16$ [2].

Отже, вимірювання великих ліній віддалемірами з високою точністю (до десятків часток міліметра, тобто з відносною похибкою 10^{-7}) передбачає застосування високоточних ЗВТ, але й відповідної точності врахування впливу зовнішніх явищ, насамперед атмосфери, приведення до горизонту із урахуванням сили земного тяжіння: середньої рефракції та кривини Землі.

2. Метрологічна атестація еталонного лінійного базису технологією GNSS

У польових умовах вимірювання великих ліній (близько 1 км і більше) за допомогою навіть сучасних лазерних (електронних) віддалемірів з точністю 1×10^{-7} виявилось недосяжним завданням [21] через недостатню точність урахування впливу атмосфери. Вважається [20], що альтернативою наземним віддалемірним вимірюванням великих ліній може стати технологія GNSS.

Метрологічна атестація еталонного лінійного базису Яворівського НПП за спостереженнями GNSS здійснювалася з 2006 р. (табл. 3).

Таблиця 3

Метрологічна атестація еталонного лінійного базису технологією GNSS з 2006 до 2014 рр.

Рік вимірювань	GPS і GNSS-приймачі
2006	Trimble 5700
2009	Trimble 5700
2010	Trimble 5700, Leica GX1230GG
2011	Trimble 5700, Leica GX1230GG
2012	Trimble 5700, Leica GX1230GG
2014	Trimble 5700, Leica GX1230GG, Trimble R7, South S82T

Результати порівняння визначень ліній базису з його еталонними значеннями, отримані під час атестацій, наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Результати метрологічних атестацій ліній базису електронними тахеометрами порівняно з еталонними

Рік	Середнє, мм	К-ть ліній	m , мм
2006	0,00	18	0,14
2009	-0,08	18	0,78
2010	0,03	17	1,06
2011	-0,04	8	1,41
2012	-0,02	8	0,86
2014	0,06	8	1,91

Зазначимо, що лінії еталонного базису, отримані після опрацювання GPS спостережень, мають середнє відхилення від еталонних значень, близьке до нуля, а середні квадратичні відхилення переважно менші, ніж для електронних тахеометрів. Довжина лінії, визначена із GPS-спостережень для найбільшої лінії (2260 м) протягом усіх років, відрізняється від еталонної менше, ніж на $\pm(0,5+1 \cdot 10^{-6} D)$ мм. Така точність еталонного базису достатня для метрологічної атестації електронних тахеометрів і GNSS приймачів [8].

3. Визначення довжин ліній еталонного лінійного базису у всіх комбінаціях за GNSS спостереженнями

У 2014 р. для реалізації запропонованої методики [12] виконано добову сесію GNSS спостережень одночасно на десяти пунктах еталонного базису. На підставі опрацювання GNSS спостережень визначено довжини ліній базису у всіх комбінаціях. Для необхідної

кількості виміряних ліній базису складено умовні рівняння, на основі розв'язків яких методом найменших квадратів оцінені похибки ліній. Ці похибки спричинені, переважно, центруванням і зсувом фазового центра антени GNSS приймачів. Зазначимо, що, виконавши спостереження GNSS на десяти пунктах, можна визначити 45 довжин ліній у всіх комбінаціях, з них 9 необхідних, тому для оцінки похибок виміряних ліній складемо 36 умовних рівнянь [9]. Результати розв'язання цієї системи рівнянь показали, що похибки визначених ліній менші за 1 мм (табл. 5).

Таблиця 5

Розподіл визначених поправок у лінії

Інтервал, мм	Кількість
0,0–0,10	28
0,11–0,20	4
0,21–0,30	6
0,31–0,40	4
0,41–0,50	1
0,51–0,60	0
0,61–0,70	1
0,71–0,80	0
0,81–0,90	1

4. Метрологічна атестація фундаментальної геодезичної мережі як робочого еталона

Метрологічна атестація фундаментальної геодезичної мережі здійснюється з 2002 р. з опрацювання GPS-спостережень. Спостереження виконуються добовими сесіями загальною тривалістю три–п'ять діб. Атестації здійснені у 2005–2008 рр. щорічно, а також у 2010 і 2013 рр. Характеристика якості геодезичної мережі та стабільності її пунктів за 2005–2013 рр. наводимо у табл. 6–8: довжини векторів D_i між пунктами з їхніми середніми значеннями D_0 , відхиленнями від середнього, а також СКП.

Зазначимо, що відносна похибка векторів між пунктами фундаментальної геодезичної мережі за 2005–2013 рр. на рівні до $3 \cdot 10^{-7}$.

Таблиця 6

Довжина вектора між пунктами GOSH і ANDR

Рік	GOSH-ANDR, м	$D_i - D_0$, мм
2005	14623,1605	-2,9
2006	,1623	-1,1
2007	,1625	-0,9
2008	,1658	2,4
2010	,1645	1,1
2013	,1649	1,5
D_0	14623,1634	СКП = 2,0

Таблиця 7

Довжина вектора між пунктами GOSH і VASL

Рік	GOSH-VASL, м	$D_i - D_0$, мм
2005	14243,8596	-0,5
2006	,8599	-0,2
2007	,8608	0,7
2008	,8597	-0,4
2010	,8583	-1,8
2013	,8623	2,2
D_0	14243,8601	СКП = 1,4

Таблиця 8

Довжина вектора між пунктами GOSH і TZSU

Рік	GOSH-TZSU, м	$D_i - D_0$, мм
2005	11764,6517	-3,3
2006	,6546	-0,4
2007	,6533	-1,7
2008	,6572	2,2
2010	,6584	3,4
2013	,6547	-0,3
D_0	11764,6550	СКП = 2,5

Оцінка швидкості зміни координат пунктів фундаментальної мережі також може характеризувати її якість. Для цього координати пунктів приводимо у систему координат ITRF-2000, але відносимо на середні епохи спостережень відповідних років. З апроксимації лінійною функцією масиву координат пунктів [15] визначаємо швидкості їх зміни (табл. 9).

Значення швидкостей зміни координат пунктів фундаментальної мережі визначено на епоху 2005,4767.

Таблиця 9

Швидкості зміни координат пунктів

Назва пункту	V_x , м/рік	V_y , м/рік	V_z , м/рік
GOSH	-0,0182	0,0141	0,0083
ANDR	-0,0180	0,0145	0,0092
TZSU	-0,0189	0,0148	0,0088
VASL	-0,0191	0,0153	0,0089

5. Результати GNSS нівелювання пунктів еталонного лінійного базису

Технологія GNSS на сучасному етапі є поширеним і точним методом визначення просторового місцеположення пунктів. Тому важливим є питання визначення нормальних висот пунктів з опрацювання GNSS спостережень. Методики GNSS нівелювання ще продовжують розвиватися, тому сьогодні актуальне завдання їх метрологічної атестації. Для цього необхідно пункти робочих еталонів перетворити на реперні точки з точними координатами і висотами відносно прийнятих еліпсоїда і рівня моря або у геодезичній і нормальній системах висот.

Отже, крім просторових координат пунктів еталонного лінійного базису, визначено також висоти цих пунктів з геометричного нівелювання другого класу, яке виконано у липні 2014 р. [23].

Визначення відносних висот дев'яти пунктів відносно вихідного (референсного) пункту T20 з опрацювання 12- і 24-годинних сесій GNSS спостережень порівняно з відповідними висотами із геометричного нівелювання становить 4,7 мм. Похибки GNSS нівелювання для десяти пунктів еталонного лінійного базису з використанням гравітаційної моделі EGM-08 змінювалися від 11,0 до 13,1 см (табл. 10). Стандартне відхилення становить 0,22 см.

Для перевірки методик GNSS нівелювання необхідна геодезична мережа з більшими відстанями, ніж в еталонного лінійного базису (2,3 км).

Таблиця 10

Похибки GNSS-нівелювання

Пункти	$h_{EGMB} - h_i^L$, см	$\Delta h_i - \overline{\Delta h}$, см
T1	-13,0	-0,46
T2	-13,1	-0,56
T3	-11,8	0,74
T9	-13,2	-0,66
T14	-12,8	-0,26
T15	-13,1	-0,56
T16	-13,0	-0,46
T17	-11,8	0,74
T21	-12,6	-0,06
T20	-11,0	1,54
$\overline{\Delta h}$	-12,54	0,00

6. Визначення висот геоїда для пунктів фундаментальної геодезичної мережі

У липні-жовтні 2015 р. виконано геометричне нівелювання за програмою другого класу пунктів фундаментальної геодезичної мережі VASL, ANDR і GOSH. Мережа геометричного нівелювання другого класу з прив'язкою до реперів першого класу: фундаментального FRP (м. Рава-Руська) і стінного (с. Добросин) Державної нівелірної мережі України наведена на рисунку.



Схема мережі геометричного нівелювання другого класу

Довжина секцій нівелювання становить від 0,95 до 5,04 км. Допустиму нев'язку у секціях нівелювання обчислювали за формулою [7]:

$$f_{\text{дон}} = 5 \cdot \sqrt{L}, \quad (1)$$

де L – довжина секції, км.

Таблиця 11

Висоти квазігеоїда, обчислені з порівняння геодезичних і нормальних висот пунктів, м

Пункт	Рік GPS-кампанії						Середнє, м	$\sigma_{\text{пункт}}$, м
	2013	2010	2008	2007	2006	2005		
VASL	31,021	31,102	31,091	31,097	31,112	31,094	31,086	0,030
T1	31,064	31,172	–	–	–	–	31,118	0,054
T20	31,055	31,181	–	–	–	–	31,118	0,063
ANDR	30,970	31,061	31,064	31,039	31,048	31,043	31,037	0,031
GOSH	30,976	31,056	31,052	31,060	31,061	31,051	31,042	0,030
Середнє, м	31,017	31,114	31,069	31,065	31,074	31,062		
$\sigma_{\text{рік}}$, м	0,039	0,053	0,016	0,024	0,028	0,022		

Виконано аналіз отриманих результатів: обчислені середні значення для пунктів і за роками GPS кампаній, а також відповідні стандартні відхилення σ . Для пунктів фундаментальної мережі стандартні відхилення близько 3 см. Якщо порівняти стандартні похибки за роками, то більше розсіювання результатів у ті роки, коли використовувалися пункти лінійного базису T1 і T20. Це можна пояснити тим, що тривалість добових сесій GPS спостережень для пунктів мережі три–п'ять діб, а на пунктах базису – одну–дві доби. Отримані результати дають підстави сподіватися, що можна буде визначати відносні висоти з опрацювання GPS спостережень на рівні другого класу нівелювання.

Висновки

1. Вимірювати відстані, більші за 1 км, з похибкою $1 \cdot 10^{-6}$ лазерними віддалемірами й електронними тахеометрами у разі вимірювання температури повітря тільки у початковій точці неможливо.

2. Визначення відстаней з похибкою $\pm(0,5+1 \cdot 10^{-6}D)$ мм за спостереженнями GNSS можливе, особливо більших за 500 м.

3. Застосована методика метрологічної атестації еталонного лінійного базису технологією GNSS дає змогу визначити довжини ліній з похибкою, меншою за 1 мм.

4. Пункти фундаментальної геодезичної мережі стабільні протягом 2005–2013 рр.

5. Внутрішня точність фундаментальної геодезичної мережі характеризується відносною похибкою $3 \cdot 10^{-7}$.

6. Встановлено, що модель EGM2008 представляє геоїд на території Яворівського полігона з похибками 11–13 см.

7. Перевищення між пунктами еталонного лінійного базису визначено методом GNSS із середнім квадратичним відхиленням 5 мм. Можна стверджувати про можливість передавання висот пунктів на відстань близько 2,5 км з точністю другого класу нівелювання у рівнинних районах.

8. Результати аналізу GNSS нівелювання дозволяють сподіватися, що можна буде визначати відносні висоти пунктів з похибкою, близькою до другого класу нівелювання для відстаней до 20 км.

Література

1. Базисы эталонные. Методика поверки // МИ БГЕИ 40–03. – М.: ЦНИИГАиК. – 7 с.
2. Богуславский Н. А. Курс геодезии / Н. А. Богуславский. – С.-Петербург: Типография Ю. Н. Эрлих, 1897. – С. 579–580.
3. ГОСТ 8.503–84 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерения длин в диапазоне 24–75000 м. – М., 1984.
4. Двуліт П. Д. Фізична геодезія / П. Д. Двуліт. – К.: ВПЦ “Експрес”, 2008. – 257 с.
5. Двуліт П. Створення оптимальної опорної гравіметричної мережі в районі наукового геодезичного полігону / Двуліт П., Тревого І., Паляниця Б., Волчко П. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – 2004. – С. 17–19.
6. Зданович В. Г. Высшая геодезия / В. Г. Зданович, А. Н. Белоликов, Н. А. Гусев, К. А. Звонарев. – М.: Недра, 1970. – 434 с.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 1990. – 160 с.
8. Купко В. Національний еталонний лінійно-геодезичний полігон / В. Купко, О. Прокопов, І. Лукін, В. Соболев, О. Косенко, О. Кофман // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Ліга-Прес. – 2004. – С. 98–104.
9. Мазмишвили А. И. Способ наименьших квадратов / А. И. Мазмишвили. – М.: Недра, 1968. – 440 с.
10. Марченко О. М. Референці системи в геодезії: навч. посіб. / О. М. Марченко, К. Р. Третяк, Н. П. Ярема. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 216 с.
11. Національний науковий центр – <http://www.metrology.kharkov.ua/index.php?id=275/>
12. Патент на корисну модель № 83876 “Спосіб визначення довжин ліній еталонного геодезичного базису”. – Зареєстровано 10.10.2013 / О. І. Ванчура, І. С. Тревого, І. М. Цюпак, Г. Т. Шевченко, Т. Г. Шевченко // Бюллетень. – 2013. – № 19.
13. Пеллинен Л. П. Высшая геодезия (Теоретическая геодезия) / Л. П. Пеллинен. – М.: Недра, 1978. – 264 с.
14. Спиридонов А. И. Основы геодезической метрологии: произв.-практ. изд. / А. И. Спиридонов. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 248 с.
15. Тревого І., Цюпак І., Савчук С., Денисов О., Паляниця Б., Лехман С. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Нац.

- університет “Львівська політехніка”. – 2009. – Вип. 1 (17). – С. 46–50.
16. Тревого І. Забезпечення метрологічної атестації сучасної геодезичної техніки на науковому геодезичному полігоні / І. Тревого, І. Цюпак, В. Купко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – Вип. II (22). – С. 49–51.
 17. Тревого І. С. Особливості метрологічної атестації еталонних геодезичних базисів / І. С. Тревого, І. М. Цюпак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2014. – Вип. I (27). – С. 29–33.
 18. Тревого І. С. До метрологічного забезпечення GNSS-нівелювання / Тревого І. С., Цюпак І. М., Волчко П. І. // Геодезія, картографія і аерофото-знімання. – 2016. – Вип. 82.
 19. Цюпак І. Точність визначення координат пунктів і довжин ліній за сесіями GPS-спостережень різної тривалості / І. Цюпак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2012. – Вип. I (23). – С. 57–59.
 20. Jokela J. On traceability of long distances / Jorma Jokela, Pasi Häkli, Joel Ahola, Arūnas Būga, Raimundas Putrima // Paper presented on XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology. – September 6–11, 2009. – Lisbon, Portugal. – http://www.imeko2009.it.pt/Papers/FP_100.pdf.
 21. Metrology for long distance surveying// <https://www.euramet.org/get/?tx...>
 22. Trevoho I. S. Prospects of metrological provision linear geodetic of measurements on the geodetic test field / I. S. Trevoho, I. M. Tsyupak // Reports on

Geodesy. – 2013. – Vol. 94. – No. 1. – Warsaw University of technology. – P. 56–63.

23. Trevoho I.S. Determination of normal height points of the standard of geodetic test field by GNSS technology / Trevoho I. S., Tsyupak I. M. // Метрологія та прилади. – 2015. – № 4. – P.50–54.

Нові результати і перспективи досліджень на Яворівському науковому геодезичному полігоні
І. Тревого, І. Цюпак, Б. Паляниця, В. Волошин

Проаналізовано результати, отримані на основі GNSS вимірів на пунктах робочих еталонів Яворівського НГП.

Новые результаты и перспективы исследований на Яворовском научном геодезическом полигоне
И. Тревого, И. Цюпак, Б. Паляница, В. Волошин

Выполнен анализ результатов, полученных на основании GNSS измерений на пунктах рабочих эталонов Яворовского НГП.

New results and prospects of research on the scientific geodesic test field in Yavoriv
I. Trevoho, I. Tsyupak, B. Palianytsia, V. Voloshin

The analysis of the results that have been obtained in the points of workers standards from processing of GNSS-measurements.

Ази геодезичної освіти

- топографічне знімання класичними способами з використанням сучасних оптичних приладів
- сучасні методи оброблення результатів польових топографічних робіт та методи геодезичних робіт, які використовувалися раніше

Для студентів першого курсу напрямку «Геодезія, картографія та землеустрій»



О. І. Мороз
ТОПОГРАФІЯ
Навчальний посібник.

Видавництво Львівської політехніки, 2016. 220 с.
ISBN 978-617-607-880-7