

## ЕТАЛОННИЙ НАУКОВИЙ ГЕОДЕЗИЧНИЙ ПОЛІГОН: ЕТАПИ СТВОРЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

© Тревого І.С., Цюпак І.М., 2011

*Проанализированы этапы создания и функционирования научного геодезического полигона, который состоит из двух метрологических объектов: 1) эталонной фундаментальной геодезической сети для метрологической аттестации GPS приемников и 2) эталонного геодезического базиса для метрологической аттестации и поверки дальномерных геодезических инструментов. Обозначены возможности развития и применения эталонного научного геодезического полигона.*

*Made the analysis of the establishment and operation of scientific geodetic reference range, which consists of two measurement items: 1) the standard of fundamental geodetic network for metrological certification receivers of GPS, and 2) a geodetic test traverse for metrological certification and verification range devices. The possibilities of its development and application was described.*

Геодезичні виміри завжди відповідають певній точності, що залежить від точності приладу і методики вимірювання, а також відповідності одиниці вимірювання приладу її еталону. З часом та через умови зберігання і використання приладу його технічні параметри змінюються. Відповідність одиниці вимірювання приладу еталону забезпечується метрологічною атестацією і повіркою приладу на еталонних геодезичних базисах і еталонних геодезичних мережах, які є робочими еталонами [2, 5, 15].

Набуття досвіду створення і використання метрологічних об'єктів в Інституті геодезії Національного університету «Львівська політехніка» починається з 70-х років XX сторіччя [8]. У зв'язку з розвитком геодезичного приладобудування, появою нових технологій вимірювань і визначення місцеположення точок, постала задача створення відповідного еталонного полігона.

Яворівський науковий геодезичний полігон (НГП) [1, 9] складається з обох зазначених метрологічних об'єктів, а саме:

- 1) еталонної фундаментальної геодезичної мережі для метрологічної атестації GPS приймачів;
- 2) еталонного геодезичного базиса для метрологічної атестації і повірки віддалемірних приладів, зокрема електронних тахеометрів.

Робота полягає в аналізі сучасного стану створеного НГП і у плануванні подальшої перспективи його вдосконалення і застосування.

Яворівський НГП створений для вирішення таких завдань:

- атестації і повірки GPS-приймачів;
- розроблення методики і дослідження точності GPS-нівелювання;
- вивчення змін гравітаційного поля в локальних регіонах для побудови моделі геоїда, необхідної при GPS-нівелюванні;
- атестації та повірки світло- і лазерних віддалемірів, електронних тахеометрів, лазерних рулеток і традиційних геодезичних інструментів та технологій лінійних вимірів;
- виконання експериментальних досліджень методів метрологічного контролю геодезичних приладів і технологій вимірювань;
- збереження еталона довжини на рівні не гіршому за еталонний геодезичного базис 1-го розряду (нормативна точність –  $(0,6+1 \times 10^{-6}D)$  мм [15]) шляхом моніторингу змін ліній та інтервалів між пунктами базису прецизійними віддалемірними приладами;
- розроблення оперативного методу періодичного метрологічного контролю стабільності центрів і ліній (інтервалів) еталонного геодезичного базису на основі супутникових технологій.

Роботи із створення яворівського НГП виконуються з 1997 р. [1, 9]. На основі чотирьох пунктів триангуляції державної геодезичної мережі 1-го, 2-го і 3-го класу створено геодезичну мережу полігонометрії 4-го класу, яка складається з понад 80-ти геодезичних пунктів [11], закріплених відповідними геодезичними центрами. На частині пунктів цієї геодезичної мережі, а також між пунктами еталонного геодезичного базису T1-T20, здійснені астрономічні спостереження для визначення широти, довготи і азимута напрямку з точністю 1" [4], що необхідно для тестування гіртеодолітів.

На геодезичному полігоні створена також і висотна мережа геометричним нівелюванням 2-го і 3-го класу [11], за вихідні слугували репери 1-го і 2-го класу державної нівелірної мережі. Лінії геометричного нівелювання 3-го класу проходили через пункти триангуляції і полігонометрії. Зазначимо, що з пунктів триангуляції і полігонометрії щорічно утворювалися геодезичні мережі, на яких виконували GPS-спостереження [9]. У 2000 р. для геодезичної мережі було відібрано 21 пункт, виконано сесії GPS-спостережень і визначено координати пунктів у геоцентричній системі координат ITRF-97 [6, 11].

Але зрозуміло, що підтримувати високоточну геодезичну мережу, куди входить понад 80 пунктів триангуляції і полігонометрії для еталонування геодезичних приладів, неможливо і навіть недоцільно. Тому у 2001 р. було запроєктовано геодезичну мережу (рис. 1) і закладено 5 фундаментальних пунктів (GOSH, VASL, ANDR, TZSU, POLY) з центрами спеціальної конструкції [5] та з примусовим центруванням приладів. У 2002 р. на пунктах цієї еталонної фундаментальної геодезичної мережі вперше було здійснено кампанію 5-ти добових сесій GPS-спостережень [7]. За допомогою обробки спостережень визначено координати пунктів цієї геодезичної мережі відносно п'яти найближчих перманентних GPS-станцій [7] у геоцентричній системі координат ITRF-2000.

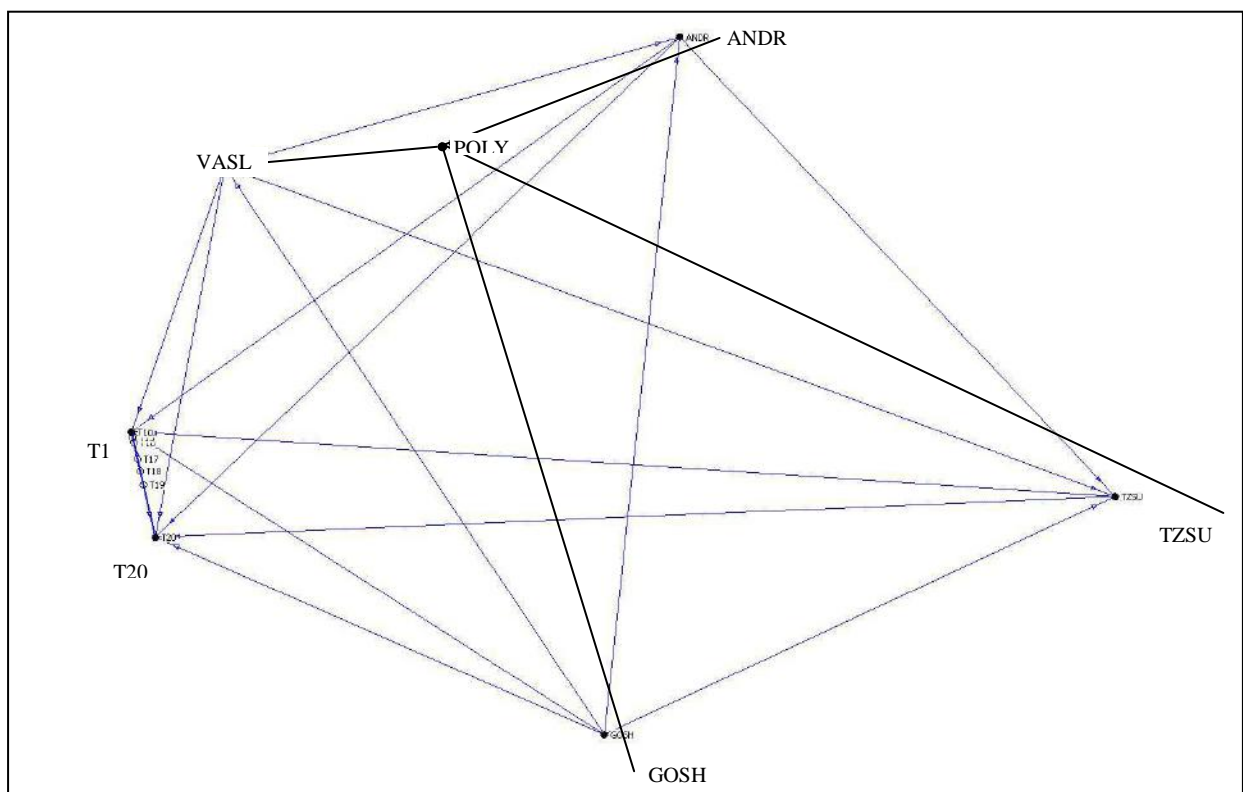


Рис. 1. Схема еталонного наукового геодезичного полігону

З метою визначення зв'язку між геоцентричною і державною системами координат як просторовими на території Яворівського НГП було розвинуто мережу гравіметричних пунктів, зроблено гравіметричне знімання території і створено карту аномалій сили ваги у вільному повітрі [3]. Також була уточнена модель гравітаційного поля EGM96 для регіону України і як локальна модель в районі Яворівського НГП [10].

Тоді ж (2002 р.) був запроєктований еталонний геодезичний базис довжиною 2260 м для метрологічної атестації і перевірки віддалемірних геодезичних приладів і закладено 20 пунктів [12, 14]. Конструкція базису, як і центрів пунктів, є оригінальними розробками – інтервали базису розраховано так, щоби запобігти похибці фазового кута віддалеміра, яка оцінюється окремо на фазовій ділянці базису. У 2003 році були виміряні відстані між пунктами геодезичного базису прецизійним лазерним віддалеміром ПЛД-1М [14]. При цьому висоти центрів знаків визначені нівелюванням 2-го класу.

В наступні роки (2005–2008 рр.) на пунктах фундаментальної геодезичної мережі були здійснені кампанії тридобових GPS-спостережень [13]. За результатами аналізу координат пунктів, визначених з обробки цих вимірів, оцінено швидкості зміни координат пунктів з часом (табл. 1) [13].

Таблиця 1

**Визначені швидкості зміни координат пунктів із середніми квадратичними похибками**

Назва пункту	$V_x$ , мм/рік	$m_{V_x}$ , мм/рік	$V_y$ , мм/рік	$m_{V_y}$ , мм/рік	$V_z$ , мм/рік	$m_{V_z}$ , мм/рік
SULP	-18,6	0,0	15,1	0,0	8,7	0,0
GOSH	-18,1	0,5	13,8	0,7	8,0	0,4
ANDR	-18,1	1,8	14,3	0,5	10,6	2,5
TZSU	-19,3	0,7	14,7	0,2	8,8	0,9
VASL	-19,8	0,5	15,5	0,9	9,7	1,8

Значення швидкостей зміни координат пунктів, наведених у табл. 1, узгоджуються з прийнятими середніми значеннями швидкостей для цього регіону [6] у межах середніх квадратичних похибок їх визначення.

Використовуючи швидкості зміни координат (табл. 1), місцеположення пунктів, визначені у різні роки, були приведені на початкову епоху GPS-спостережень ( $t_0=2005,4767$ ). З координат пунктів (GOSH, VASL, ANDR, TZSU), визначених на 4 епохи, обчислені їх середні значення з оцінкою точності (табл. 2).

Таблиця 2

**Середні квадратичні похибки координат пунктів на епоху  $t_0=2005,4767$**

Пункт	$m_x$ , мм	$m_y$ , мм	$m_z$ , мм
GOSH	2,0	2,5	1,7
ANDR	6,8	1,7	10,4
TZSU	3,0	0,6	3,4
VASL	2,9	3,4	6,3

Враховуючи відстані між пунктами фундаментальної геодезичної мережі, можна зазначити, що точність координат її пунктів відповідає робочому еталону 1-го розряду [15].

З кампанії двох добових сесій GPS-спостережень 2010 р. визначені координати пунктів фундаментальної геодезичної мережі разом з пунктами еталонного геодезичного базису T1 і T20 [16]. Отримані координати пунктів, приведені до початкової епохи, відрізняються від їх середніх значень на величину, що менша за точність їх визначення.

Метрологічну атестацію еталонного геодезичного базису виконували високоточними електронними тахеометрами (Trimble 5601 DR Standart і Leica TCR 1201+R400) та за допомогою GPS-вимірів двочастотними приймачами у 2006, 2007, 2009 і 2010 роках [14]. Аналіз результатів метрологічних атестацій наведено у роботі [17]. Тут з досліджень показано, що величини різниць між лініями, виміряними прецизійним лазерним віддалеміром ПЛД-1М і високоточними електронними тахеометрами та між самими тахеометрами такі самі, як і між віддалемірними

приладами і GPS-приймачами. Отже, доведено ефективність виконання метрологічної атестації відстаней між пунктами лінійного еталонного базису за допомогою GPS-спостережень.

Еталонна фундаментальна геодезична мережа і еталонний геодезичний базис є діючими метрологічними об'єктами і практично щорічно проходять метрологічну атестацію. За результатами таких атестацій отримали свідоцтво ННЦ «Інститут метрології» як робочі еталони першого розряду для метрологічної атестації і перевірки геодезичних віддалемірних приладів та GPS приймачів. На метрологічних об'єктах яворівського НГП систематично проводиться атестація геодезичних приладів ДП «Львівстандартметрологія», на основі якої видаються відповідні свідоцтва.

Враховуючи напрямленість розвитку сучасних наземних і супутникових геодезичних приладів та технологій вимірювань, необхідно розбудовувати і вдосконалювати еталонний науковий геодезичний полігон для розроблення методик виконання GPS-нівелювання та дослідження рівнів його точності. Для цього планується встановити новий фундаментальний гравіметричний пункт, на якому періодично вимірювати прискорення сили ваги абсолютним гравіметром. Відновити гравіметричну мережу і виконати гравіметричне знімання території, що простягається більш як на 100 км в усі такі від межі яворівського НГП. На основі цих вимірів та з використанням супутникових даних збудувати локальну модель геоїда. Це дасть змогу досліджувати точність та відпрацьовувати методику GPS-нівелювання.

**Висновки.** З аналізу отриманих результатів можна зробити такі висновки:

- на Яворівському еталонному науковому геодезичному полігоні функціонують метрологічні об'єкти: фундаментальна геодезична мережа та еталонний геодезичний базис, відповідно для метрологічної атестації GPS приймачів та електронних і традиційних геодезичних приладів;
- розроблено метод оперативного контролю інтервалів базису на основі GPS-спостережень, який забезпечує точність близько 1 мм;
- підтверджено стійкість трубчастих центрів базису протягом тривалого часу;
- точність фундаментальної геодезичної мережі та еталонного геодезичного базису Яворівського НГП відповідають робочому еталону 1-го розряду.

1. Волчко П.І. Проектування геодезичного полігона на території Львівського навчального центру / П.І. Волчко, Ф.Д. Заблоцький, І.С. Тревого // *Сучасні досягнення геодезії, геодинаміки та геодезичного виробництва*. – Львів. – 1999. – С. 86–92. 2. ГОСТ 8.503-84 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерения длин в диапазоне 24–75000 м.-М, 1984. 3. Дзуліт П. Створення оптимальної опорної гравіметричної мережі в районі наукового геодезичного полігону / П. Дзуліт, І. Тревого, Б. Паляниця, П. Волчко // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – Львів. – 2004. – С. 17–19. 4. Денисов О. Визначення астрономічних координат на пунктах Яворівського наукового геодезичного полігону / О. Денисов, П. Волчко, І. Тревого, С. Савчук // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – Львів. – 2003. – С. 122–126. 5. Друзюк В. Сучасні геодезичні прилади і технології: науково-технічне метрологічне забезпечення / В. Друзюк, А. Мазур, І. Тревого, І. Цюпак // *Метрологія та прилади*. – 2010, № 3. – С. 19–26. 6. Кучер О.В. Методичні основи впровадження світової геодезичної системи WGS-84 для цілей цивільної авіації: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01 / Київський національний ун-т будівництва і архіт. – К., 2006. – 15 с. 7. Савчук С. Обробка GPS-спостережень наукового геодезичного полігону / С. Савчук, І. Тревого, А. Віват // *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва*. – Львів. – 2003. – С. 39–47. 8. Тревого І.С. Об еталонировании топографических светодальномеров // *Геодезия и картография*. – 1987. – № 1. – С. 20–25. 9. Тревого І.С. Створення оптимальної геодезичної мережі навчально-наукового геодезичного полігону з застосуванням GPS-технологій / І.С. Тревого, П.І. Волчко, С.Г. Савчук // *Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технології*. – Львів. – 1999. – С. 27–32. 10. Тревого І. Локальне уточнення моделі гравітаційного поля в районі наукового геодезичного полігону / І. Тревого, О. Марченко, П. Дзуліт, С. Савчук,

П. Волчко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – 2003. – С. 32–38.

11. Тревого І. Науковий геодезичний полігон для метрологічної атестації геодезичних приладів та технологій / І. Тревого, С. Савчук, О. Денисов, П. Дзуліт, В. Глотов, П. Волчко // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка». – 2005. – С. 33–43.

12. Тревого И. Геодезический полигон для метрологической аттестации приборов и апробации технологий / И. Тревого // Геопрофи. – Москва, 2009. – № 4. – С. 6–12.

13. Тревого І. Аналіз зміни координат пунктів Яворівського наукового геодезичного полігону / І. Тревого, І. Цюпак, С. Савчук, О. Денисов, Б. Паляниця, С. Лехман // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка». – 2009. – Вип. 1(17). – С. 46–50.

14. Тревого І. Еталонний геодезичний базис оригінальної конструкції / І. Тревого, О. Денисов, І. Цюпак, В. Гегер, В. Тимчук // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – Львів: Ліга-Прес, 2010. – Вип. 1(19). – С. 43–49.

15. Тревого І.С. Стан і проблеми метрологічного забезпечення лінійних вимірювань в Україні / І.С. Тревого, В.С. Купко, О.Л. Костріков, І.М. Цюпак // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні» м. Ужгород, 28–30 жовтня 2010 р. – Ужгород. – 2010. – С. 6–11.

16. Тревого І.С. Вдосконалення еталонної геодезичної мережі наукового геодезичного полігону / І.С. Тревого, І.М. Цюпак, В.М. Друзюк, В.У. Волошин // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технологій (Збірник наукових праць XV міжнародного симпозиуму. – Алушта (Крим), 13–18 вересня 2010 р.). – Львів, 2010. – С. 34–36.

17. Тревого І.С. Еталонний геодезичний базис: аналіз результатів і нова атестація / І.С. Тревого, І.М. Цюпак, В. Гегер // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2011. – Вип. 1 (21). – С. 65–68.