

## ПРО ПРОВЕДЕННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ GPS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА ЗАКАРПАТТІ

© Калинич І.В., Віват А.Й., Марущенко О.М., 2004

*Выполнены полевые наблюдения на 13 пунктах Государственной геодезической сети (плановой и высотной) в Закарпатской области. Для оценки точности при обработке базовых линий было выбрано семь критериев, а при уравнивании – три. Для дальнейших наблюдений в сетях высокого класса необходимы рекогносцировочные работы, после которых можно будет определить пригодность пунктов по критерию открытости небосклона. Предложено выполнять 12 – часовые наблюдения - время равно периоду вращения спутников GPS, что даст возможность исключить некоторые ошибки. Необходимо отметить, что программный пакет Trimble Geomatics Office с использованием точных IGS-эфемерид и NGS-таблиц сдвигов фазовых центров антенн является полностью пригодным для обработки наблюдений в сетях высокого класса.*

*The field observations on 13 points of a State geodetic network (planned and high-altitude) in the Zakarpatyie area are executed. For an estimation of accuracy at processing base lines seven criteria were chosen, and at an adjustment - three. For the further observations in networks of a high class are necessary reconnoitring works, after which it will be possible to define suitability of points by criterion of an openness небосклона. It is offered to carry out 12 - hour observations - time equally to period of rotation of the GPS, that will enable to exclude some mistakes. It is necessary to note, that the software package Trimble Geomatics Office with use precise IGS-ephemeris and NGS-tables of shifts of the phase centres of aerials is completely suitable for processing observations in networks of a high class.*

**Постановка проблеми.** На даному етапі розвитку геодезії просторове положення точки визначається у чотиримірному просторі  $(X, Y, Z, t)$  чи  $(B, L, H, t)$ . Дві перші компоненти геодезичної системи координат



$(B, L)$  – планове положення – можуть визначатися з досить високою точністю за допомогою GPS-апаратури.

Третю компоненту  $H$  – висоту – можна визначати менш точно через різноманітні причини методологічного характеру, а особливо через нестійкість фазового центру. Найбільше зацікавлення представляє зараз визначення саме висотної складової і на це є ряд причин.

Згідно з теорією Молоденського визначення поверхні та зовнішнього гравітаційного поля Землі геодезичну висоту  $H$  представляють сумою нормальної висоти  $H^r$  та аномалії висоти  $\zeta$ :

$$H = H^r + \zeta. \quad (1)$$

В досупутниковий період рівність (1) використовували для знаходження геодезичної висоти. На даний час ситуація змінилась і в цій рівності можна вважати невідомою будь-яку висоту та отримувати її на основі вимірювань двох інших.

Отже, з'являється можливість знаходження нормальної висоти за супутниковими та гравіметричними даними без використання геодезичних вимірювань. Формулу (1) використовують зараз в локальних масштабах для знаходження нормальної висоти без геометричного нівелювання, вважаючи при цьому відомою (заданою) ділянку поверхні квазігеоїда.

Для побудови поверхні квазігеоїда нам необхідно мати або досить детальну модель квазігеоїда або володіти інформацією про геодезичні координати та нормальні висоти ряду точок, які рознесені по всій території заданого регіону.

Саме польовим та камеральним роботам, які стосуються супутникового методу визначення геодезичних координат  $(B, L, H)$ , і присвячена дана стаття.

**Аналіз досліджень.** Дана проблема поставлена і в тій чи іншій мірі вирішена у роботі [1]. В ній для опрацювання результатів спостережень було використано програмний пакет Trimble Geomatics Office версії 1.6 (TGO), також були використані точні IGS-ефемериди, але не використовувались NGS-таблиці зсувів фазових центрів. Координати були визначені з внутрішньою точністю близько 5 мм при відстанях між пунктами 30-40 км.

Згадане питання підняте і у роботі [2] при опрацюванні та врівноваженні Державної геодезичної мережі України (ДГМ). Обчислення виконувались програмним комплексом GAMIT/GLOBK.

Також питання добре висвітлене у роботі [3] при переопрацюванні EUREF 2001, яке було необхідне у зв'язку з виявленням зміщень фазових центрів антен, неврахованих при попередньому опрацюванні даної мережі. Обчислення виконувались програмним комплексом Bernese.

**Формування цілей статті.** Нашою метою було дослідити можливість використання програмного пакета Trimble Geomatics Office для опрацювання мереж високого класу, створених з допомогою супутникової технології. При цьому ми хотіли оцінити досягнуту точність, виявити необхідність врахування в локальних регіонах крім IGS-ефемерид та NGS-таблиць зсувів фазових центрів також впливи океанічних та полярних припливів, гравіметричних моделей, релятивістських поправок. Потрібно було також забезпечити контроль та встановлення точності на кожному етапі – від польових вимірів до кінцевих координат.

**Виклад основного матеріалу.** Нами були виконані польові спостереження та камеральні опрацювання 13 пунктів державної геодезичної мережі (5 пунктів триангуляції та 8 реперів нівелювання) у рівнинній та передгірській частині Закарпатської області (див. рис.1). Спостереження відбувались у такі періоди часу:

з 04.05.2004р. по 08.05.2004р. (125 – 129 GPS-день та 1269 GPS – тиждень) відспостерігали шість пунктів;

з 18.05.2004р. по 23.05.2004р. (146 – 151 GPS-день та 1272 GPS – тиждень) відспостерігали сім пунктів; та з використанням такого обладнання:

приймач супутникових сигналів – Trimble 5700;

антена – Zephyr Geodetic.

Не задаючись оптимізацією за часом, спостереження планувались так:

- пункти триангуляції – 24<sup>h</sup>;
- репери - 10<sup>h</sup>;

Реалізовано:

- пункти триангуляції – 23<sup>h</sup>... 24<sup>h</sup>;
- репери - 9<sup>h</sup>... 10<sup>h</sup>.

У польових умовах були складені протоколи для кожного пункту, де вписувались час спостережень, тип приймача та антени, висота антени, частота відбору даних, умови спостережень (видимість неба та розриви



сесій). Основна увага надавалась вимірюванню висоти антени, яку ми вимірювали три рази на початку, під час та в кінці спостережень.

Для отримання координат при камеральному опрацюванні необхідні два GPS – комплекти даних (два пункти спостереження): це вимога диференціального методу. А щоб їх ще й проконтролювати – три, тобто мінімережу. Керуючись даними вимогами, на період проведення GPS кампанії було зроблено вибірку даних із перманентних GPS станцій EPN (Європейської перманентної мережі) [5]. Найближчими виявились UZHL (Ужгород, Україна) та NYIR (Nierthaze, Угорщина), які теж зображені на рис.1. Отже, в опрацюванні були використані дві перманентні станції для обчислення координат невідомих пунктів та прив'язки їх до мережі ITRF'2000.

З інструкції спостережень слідує, що якість отриманих результатів залежить, в основному, від часу спостережень і тим краща, чим більше часу займають самі спостереження. Перевірити це було запропоновано на пункті ESEN (Есень). З 24 - годинного файлу спостережень ми виділили шість файлів, характеристики яких наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Кількість файлів спостережень	Час спостережень	Кількість розв'язків
3	8	3
2	12	2
1	24	1

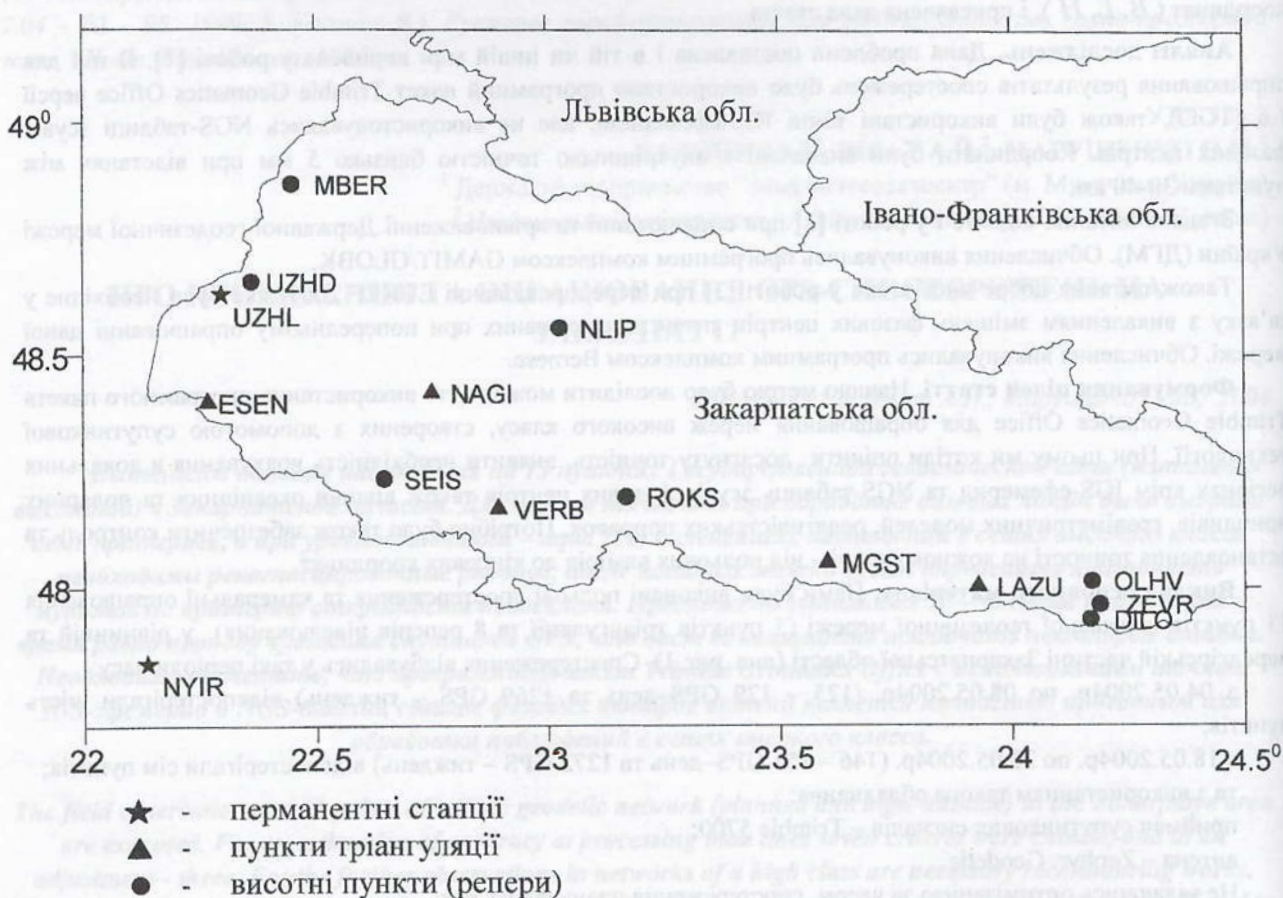


Рис. 1. Схема GPS-мережі та перманентних станцій

Загрузивши отримані файли у програмний пакет Trimble Geomatics Office та виконавши опрацювання базових ліній, отримуємо шість розв'язків, критерієм оцінки кожного з яких є такі статичні величини:

- ratio (відношення) – це відношення дисперсії другого кращого фіксованого рішення до дисперсії першому кращому фіксованому рішення. Процесор виконує пошук великої кількості різних значень, отримуючи дисперсії по кожному варіанту. Потім він розміщує отримані значення один за одним так, що



найменше значення дисперсії є найкращим, найближче до нього рішення є другим кращим і т.д. Значення відношення, виведене у звіті, є відношенням дисперсій другого кращого рішення до найкращого. Процесор базових ліній вимагає, щоб найкраще рішення було хоча б у 1.5 раза краще наступного кращого рішення, перш ніж прийняти його як дійсно фіксоване рішення. Тобто значення відношення повинно бути принаймні рівне 1.5 для того, щоб рішення розглядалося як фіксоване. Якщо відношення зі значенням 1.5 не знайдене, то процесор виконує фінальний оптимальний прохід, щоб одержати наступне краще можливе рішення;

- *reference variance* (коефіцієнт дисперсії) – це показник того, наскільки добре дані виміри окремої базової лінії (кодові і фазові виміри) відповідають отриманому рішенню. Для обчислення коефіцієнта дисперсії процесор порівнює отримане значення дисперсії з тим, що очікувалось одержати на основі зроблені припущення про рівень шумів. Якби припущення про величину помилки були б точними, то коефіцієнт дисперсії дорівнював б 1.0. Якщо вона менша 1.0, то фактична точність польових вимірів краща, ніж очікувана, а якщо коефіцієнт дисперсії більше 1.0, то фактична точність польових вимірів гірша, ніж очікувана;

- *RMS* (середня квадратична помилка) – якість рішення базової лінії, що дуже залежить від перешкод у сигналах супутників та супутникової геометрії. *RMS* використовує перешкоди вимірів псевдовіддалей до супутників для індикації якості рішення. Чим менше значення *RMS*, тим кращі спостереження;

- *length* (периметр полігону);
- $\Delta$  *Horiz* (нев'язка планова);
- $\Delta$  *Vert* (нев'язка висотна);
- *PPM* (помилка відстані в м/км).

Три перші параметри характеризують точність визначення базових ліній як окремого елементу мережі, інші чотири – мережу в цілому.

Параметри, наведені нижче, характеризують мережу після врівноваження (як вільну, так і жорстку):

- *mB* - середня квадратична помилка у визначенні геодезичної широти;
- *mL* - середня квадратична помилка у визначенні геодезичної довготи;
- *mH* - середня квадратична помилка у визначенні геодезичної висоти.

Після проведення комплексу робіт ми отримали 13 проектів, у кожному з яких використовувались дві перманентні станції (*UZHL* і *NYIR*) та певний пункт, що визначався. Отже, було отримано 13 мереж, кожна з яких утворювала правильну геометричну фігуру – трикутник. Надалі під словом мережа будемо розуміти саме цей трикутник.

**Аналіз матеріалів спостережень.** Аналіз проведемо за такою схемою:

аналіз після обчислення компонентів векторів за сімома характеристиками, які наведені вище (зведено у таблиці 2);

аналіз після вільного врівноваження за трьома характеристиками, про які теж говорилось вище (зведено у таблиці 3);

аналіз після жорсткого врівноваження за трьома характеристиками при фіксованому *UZHL* (зведено у таблиці 4);

аналіз після жорсткого врівноваження за трьома характеристиками при фіксованому *UZHL* та *NYIR* (зведено у таблиці 5);

аналіз після жорсткого врівноваження при фіксованому *UZHL*, за різницями координат *NYIR*, отриманих з комбінованого розв'язку Європейської мережі та нами з *TGO* (зведено у таблиці 6).

Таблиця 2

Характеристики	Проекти							
	8-годинні				12-годинні			24-годинні
	1	2	3	Середнє	1	2	Середнє	1
ratio	4.5	14.7	22.5	<b>12.8</b>	12.6	8.6	<b>10.6</b>	<b>5.8</b>
ref.variance	0.893	1.552	1.224	<b>1.223</b>	1.090	1.380	<b>1.235</b>	<b>1.217</b>
RMS (m)	0.010	0.015	0.012	<b>0.012</b>	0.012	0.013	<b>0.012</b>	<b>0.012</b>
length (m)	8.7055	7.6876	8.7001	<b>8.3644</b>	8.6971	8.6985	<b>8.6978</b>	<b>8.6958</b>
$\Delta$ Horiz (m)	0.0013	0.0018	0.0017	<b>0.0016</b>	0.0018	0.0018	<b>0.0018</b>	<b>0.0021</b>
$\Delta$ Vert (m)	0.0010	-0.0244	0.0080	<b>-0.0051</b>	-0.0023	0.0098	<b>0.0038</b>	<b>-0.0057</b>
PPM (m/km)	0.007	0.137	0.010	<b>0.051</b>	0.016	0.056	<b>0.036</b>	<b>0.034</b>



Більшість характеристик для 8 - годинних розв'язків є найкращими, але найбільш розсіяними, що говорить про їх малу репрезентативність. Характеристики для 12 - годинних розв'язків є менш розсіяними і тим самим представляють надійніший результат. Характеристики для середніх значень та 24 - годинного розв'язку, окрім декількох, приблизно рівні.

Отриманий результат свідчить про можливість досягнення високої точності при фіксуванні тільки одного пункту. Звичайно, розв'язок буде безконтрольним.

Таблиця 3

Характеристики	Проекти							
	8-годинні				12-годинні			24-годинні
	1	2	3	Середнє	1	2	Середнє	1
<i>mB</i> (mm)	0.5	1.5	0.7	<b>0.9</b>	0.6	0.5	<b>0.6</b>	<b>8.6</b>
<i>mL</i> (mm)	0.4	1.0	0.5	<b>0.6</b>	0.5	0.4	<b>0.4</b>	<b>7.9</b>
<i>mH</i> (mm)	2.9	7.6	3.6	<b>4.7</b>	3.4	2.9	<b>3.2</b>	<b>45.6</b>

Таблиця 4

Характеристики	Проекти							
	8-годинні				12-годинні			24-годинні
	1	2	3	Середнє	1	2	Середнє	1
<i>mB</i> (mm)	4.6	2.5	5.2	<b>4.1</b>	4.6	4.3	<b>4.4</b>	<b>1.3</b>
<i>mL</i> (mm)	3.3	1.8	3.7	<b>2.9</b>	3.3	3.0	<b>3.2</b>	<b>1.2</b>
<i>mH</i> (mm)	25.5	13.2	28.2	<b>22.3</b>	25.1	23.2	<b>24.2</b>	<b>6.5</b>

Таблиця 5

Характеристики	Проекти							
	8-годинні				12-годинні			24-годинні
	1	2	3	Середнє	1	2	Середнє	1
<i>mB</i> (mm)	0.8	2.9	1.2	<b>1.6</b>	1.0	1.3	<b>1.2</b>	<b>0.9</b>
<i>mL</i> (mm)	0.6	2.0	0.9	<b>1.2</b>	0.7	0.9	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>
<i>mH</i> (mm)	4.7	15.0	6.4	<b>8.7</b>	5.2	6.5	<b>5.8</b>	<b>4.7</b>

З таблиці 3 слідує, що характеристики 8 – та 12 – годинних розв'язків є на порядок кращі від 24 – годинного. Керуючись даними таблиці 4 робимо висновок, що характеристики 24 – годинного розв'язку є у три рази кращі за 8 – та 12 – годинні. З таблиці 5 видно, що характеристики для всіх розв'язків приблизно одного рівня точності.

Таблиця 6

Характеристики	Проекти							
	8-годинні				12-годинні			24-годинні
	1	2	3	Середнє	1	2	Середнє	1
$\Delta B$ (mm)	7.1	-6.2	4.3	<b>1.7</b>	3.4	3.7	<b>3.6</b>	<b>-4.0</b>
$\Delta L$ (mm)	-5.3	-16.1	2.1	<b>-6.4</b>	-8.6	-0.6	<b>-4.6</b>	<b>-9.9</b>
$\Delta H$ (mm)	6.0	-14.0	7.1	<b>-0.3</b>	-3.2	4.0	<b>0.4</b>	<b>-4.2</b>



Наведемо характеристики точності відпостережуваної та опрацьованої нами мережі у таблиці 7:

Таблиця 7

Назва пункту	$mB$ (m)	$mL$ (m)	$mh$ (m)	Найменування	Час спостережень
ESEN	0.001	0.001	0.006	Пункт	24 <sup>h</sup>
VERB	0.001	0.001	0.003	Пункт	24 <sup>h</sup>
MGST	0.001	0.001	0.004	Пункт	24 <sup>h</sup>
LAZU	0.005	0.005	0.017	Пункт	23 <sup>h</sup>
NAGI	0.001	0.001	0.006	Пункт	23 <sup>h</sup>
MBER	0.002	0.002	0.008	Репер	10 <sup>h</sup>
UZHD	0.004	0.004	0.021	Репер	10 <sup>h</sup>
NLIP	0.002	0.002	0.007	Репер	10 <sup>h</sup>
SEIS	0.001	0.001	0.006	Репер	9 <sup>h</sup>
ROKS	0.002	0.002	0.010	Репер	9 <sup>h</sup>
OLHV	0.007	0.007	0.035	Репер	9 <sup>h</sup>
ZEVR	0.021	0.021	0.030	Репер	9 <sup>h</sup>
DILO	0.005	0.005	0.021	Репер	9 <sup>h</sup>

Наведені похибки характеризують точність визначення геодезичних координат та їх прив'язку до мережі ITRF'2000.

**Висновки.** За даними наших досліджень для пунктів триангуляції планова точність складає 1мм, за виключенням пункту LAZU (5мм), де суттєво була закрита південна частина небосхилу. Висотна складова дорівнювала 6мм, відповідно на пункті LAZU – 17мм.

Для реперів нівелювання планова точність коливається в межах від 1 до 7мм, за виключенням репера ZEVR (Центр Європи) – 21мм. Висотна складова для трьох реперів менша ніж 10мм, для інших чотирьох сягнула 21 - 35мм.

Дане пониження точності не залежить від результатів камерального опрацювання, воно виникло ще у польових умовах. Також воно не залежить і від часу спостережень, а лише від відкритості небосхилу. Наочним прикладом є пункт LAZU.

Для подальших спостережень у мережах високого класу необхідними є рекогносцивальні роботи, після яких можна буде визначити придатність пункту за критерієм відкритості небосхилу.

Щодо часу спостережень, то, на нашу думку, доцільним є проведення 12 – годинних спостереження - це час, рівний періоду обертання супутників GPS навколо Землі. Приймач зможе зібрати дані з усіх супутників системи, що дасть змогу виключити деякі похибки методичного характеру.

Необхідно відзначити, що програмний пакет Trimble Geomatics Office із використанням точних IGS-ефемерид та NGS-таблиць зсувів фазових центрів антен є цілком придатним для опрацювання спостережень у мережах високого класу. Про це свідчать матеріали таблиць 6 та 7.

1.С.Савчук, І.Тревого, А.Віват. Обробка GPS-спостережень наукового геодезичного полігону // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр.- Л.,2003.-С.39-47. 2.Ю.Стопхай, Р.Висотенко. Обробка GPS-спостережень, виконаних на пунктах фундаментальної геодезичної мережі України в 2000 році // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр.- Л.,2003.-С.48-54. 3.Mark Greaves. Reprocessing the EUREF GB 2001 GPS campaign. <http://www.euref-ig.net/symposia>. 4.Documentation for the Trimble Geomatics Office software. 5.<ftp://igs.ifag.de/gpsdata/>- Європейська база даних (Франкфурт, Німеччина).