

УДК 528.2

Я. М. КОСТЕЦЬКА, Ю. Р. ПІШКО, І. М. ТОРОПА

Кафедра інженерної геодезії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. Карпінського 6, 79013, Львів; Україна, 79013, тел. +38 (032) 258-23-87, ел. пошта kaf.IGD@gmail.com.

ВПЛИВ КУТА ВІДСІЧКИ ТА ТИПУ ПРИЙМАЧА НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПУНКТІВ

Мета. Дослідити вплив зміни кута відсічки на точність визначення положення пунктів супутникових геодезичних мереж під час спостережень різної тривалості дво- та одночастотними приймачами супутників тільки системи GPS та одночасно двох систем: GPS і ГЛОНАСС. **Методика.** Вихідними даними для дослідження послугували результати спостережень тривалістю 10 діб на 35 перманентних станціях Франції. З цих спостережень сформовано три мережі. У двох із них кількість станцій дорівнює 12, а в третій – 11. Середня довжина сторін у них змінюється від 21,9 км до 24,1 км. Також із WEB-сторінки www.rgp.ing.fr взято координати станцій, які в дослідженні прийняті за істинні. Опрацювання спостережень виконувалось програмою Trimble Business Center, змінюючи такі параметри, як тривалість спостережень (24, 12, 6, 3, 2, 1, 0,5 та 0,25 год) та кут відсічки (0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 30° і 40°). Для кожної мережі сформовано сеанси спостережень дво- і одночастотними приймачами сигналів супутників систем GPS і ГЛОНАСС і тільки системи GPS. Отже, опрацьовано загалом 12096 сеансів. Порівнявши значення істинних та визначених за результатами спостережень планових координат пунктів мереж, отримані середні квадратичні помилки положення пунктів. **Результати.** Аналіз отриманих значень середніх квадратичних помилок положення пунктів, отриманих за результатами спостережень дво- і одночастотними приймачами супутників тільки системи GPS, показав що найменша точність пунктів під час сеансів спостережень тривалістю від 0,25 год до 12 год, одержана за кута відсічки 40°, а найвища – за кутів відсічки 20°–30° та тривалості сеансів від 1 до 12 год. Під час спостережень супутників двох систем (GPS і GLONASS) дво- і одночастотними приймачами за тривалості сеансів від 1 до 12 год найвища точність пунктів, отримана за кута відсічки 30°, тоді як найнижча, здебільшого, за кутів відсічки від 0° до 15°, а за тривалості спостережень не більший від 2 год – за 40°. За тривалості спостережень 0,5–0,25 год точність визначення положення пунктів є найвищою за кута відсічки 15°–20° для двочастотних приймачів. Крім того, виконуючи спостереження супутників тільки системи GPS двочастотними приймачами тривалістю від 24 до 3 год точність пунктів у мережах є практично такою самою, як і в разі використання сигналів двох систем. **Наукова новизна та практична значущість.** Проведені дослідження ефективності збільшення кута відсічки за наявності більшої кількості GNSS-супутників, використовуючи великий масив даних, робить одержані результати достовірнішими порівняно з результатами, отриманими іншими дослідниками. Результати дослідження дають можливість встановити оптимальні значення кутів відсічки під час створення супутникових геодезичних мереж за спостереженнями супутників тільки системи GPS та разом двох систем GPS і ГЛОНАСС дво- і одночастотними приймачами.

Ключові слова: супутникові системи GPS і ГЛОНАСС; кут відсічки; тривалість сеансів спостережень; точність положення пунктів.

Вступ

За останні роки відбулися суттєві зміни в глобальних навігаційних супутникових системах (ГНСС), покращилася якість обладнання супутників та збільшилась їхня кількість. Відбулося також оновлення та розширення наземного сегмента ГНСС, що підвищило якість ефемерид. Сьогодні все ширше використовуються в геодезії приймачі, які одночасно приймають сигнали двох чинних систем – GPS і GLONASS і виконують вимірювання віддалей до їх супутників. Завдяки цьому збільшилась

кількість визначених приймачами величин. Усе зазначене вище потребує перегляду основних параметрів методики супутникових спостережень, зокрема і відносних статичних.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Одним із параметрів методики супутникових спостережень є кут відсічки, значення якого встановлюють у нормативних документах залежно від точності вимірювань. Але параметри методики супутникових спостережень встановлені ще в минулому столітті, коли

функціонувала тільки одна система NAVSTAR GPS та коли кількість діючих супутників була меншою, ніж у наш час.

Нормативні документи різних країн для відносних статичних спостережень потребують різних кутів відсічки: 10° [Precyzyjne pozycjonowanie w oparciu o GNSS, 2011], 12° [Guidelines and Specifications for Global Navigation Satellite System Land Surveys in Connecticut, 2008], від 13° до 15° [TxDOT Survey Manual, 2011], 15° [Principles and Practice of GPS Surveying, 1999, Інструкція про побудову державної геодезичної мережі з використанням супутникових радіонавігаційних систем, 2002, Dawod G. M., 2003, GPS guidebook. Standards and Guidelines for Land Surveying Using Global Positioning System Methods, 2004, Guidelines for the use of GNSS in land surveying and mapping, 2010]. В Україні під час створення та оновлення ДГМ 1-го класу встановлено кут відсічки 10° , а для спостережень у мережах 2 та 3 класів допускається 15° [Інструкція про побудову державної геодезичної мережі з використанням супутникових радіонавігаційних систем, 2002]. В Австралії також встановлено кути відсічки залежно від класу мереж. У мережах 1 класу – 0° , другого і третього класів – 7° та 15° в мережах 4 і 5 класів [Guideline for Control Surveys by GNSS, 2012]. Хоча в літературі найчастіше рекомендують використовувати сигнали супутників, які знаходяться на висоті $0\text{--}15^\circ$ над горизонтом [Doberstein D., 2012], $5\text{--}15^\circ$ [Groves P.D., 2013] та 10° або 15° [El-Rabbany A., 2002]. В [Hofmann-Wellenhof B., Legat K., Wieser M., 2003, Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E., 2008] вказується, що космічний сегмент сформований так, що, якщо встановлюють кут відсічки 15° , то повинно спостерігатися від 4 до 8 супутників, 10° – до 10 супутників, 5° – не менше ніж 12 супутників.

За зменшення кута відсічки приймач приймає сигнали супутників, для яких зростає частота їх шляху в нижньому шарі тропосфери. В цьому шарі спостерігають найінтенсивніші зміни метеорологічних параметрів, що впливає на швидкість сигналів супутників. З огляду на це рекомендують не використовувати сигнали супутників близьких до горизонту. В [Grewal M. S., Andrews A. P., Bartone C. G., 2013] вважають,

що використання сигналів супутників, які знаходяться $10\text{--}15^\circ$ над горизонтом, дає змогу зменшити негативний вплив атмосфери на результати вимірювань.

Ще однією причиною встановлення певного значення кута відсічки є бажання зменшити вплив багатошляховості сигналів супутників, тобто їх відбиття від різних об'єктів. Приймач приймає основний сигнал супутника, що пройшов шлях до приймача без заломлень, разом з відбитими сигналами, які вносять помилку у виміряні до супутника віддалі. Однак збільшення кута відсічки є причиною погіршення геометричної конфігурації супутників та зростання показника PDOP [Lange A.F., Buick R., 2003, Richharia M., Westbrook L. D., 2010].

Певні аспекти використання GPS в умовах обмеженої видимості горизонту описані, зокрема, в праці [Янчук О. Є., 2011], де одним з питань є дослідження точності GPS-спостережень різної тривалості (30 та 60 хвилин) за кутів відсічки 0° , 5° та 15° . Ці дослідження підтвердили те, що найкращі результати отримують, використовуючи супутники за кута відсічки 15° .

Мета

Істотне збільшення кількості чинних супутників під час використання двох і більше ГНСС дає змогу припустити, що збільшення кута відсічки не впливатиме негативно на точність визначення положення приймача. Бо, як відомо, необхідність вилучати зі спостережень супутники, які розташовані низько до горизонту (що звичайно зменшує їхню кількість та погіршує геометричну конфігурацію), зумовлено впливом атмосфери на точність визначення положення пунктів.

Метою проведеного нами дослідження є з'ясування впливу зміни кута відсічки на точність визначення положення пунктів мереж за різної тривалості спостережень залежно від типу приймачів (дво- чи одночастотні), що певною мірою пов'язано з впливом атмосфери на точність супутникових визначень. А також доцільності спільного використання одночасно сигналів супутників систем GPS і GLONASS, що відповідно впливатиме на загальну кількість супутників за різної тривалості спостережень.

Методика

Для дослідження використані результати спостережень на перманентних станціях, які обладнані двосистемними приймачами (тип більшості з них TRIMBLE NetR5), тобто на них приймаються сигнали двох систем: GPS та GLONASS. Цю умову задовольняють перманентні станції, розташовані в північній частині Франції.

Результати спостережень тривалістю десять діб на вибраних перманентних станціях взято з web-сторінки www.rgp.ign.fr. Крім того, з цього сайту взято просторові координати станцій, за якими обчислені їх планові координати в проекції Гаусса–Крюгера. Вони прийняті за істинні і з ними порівнювались координати пунктів врівноважених супутникових мереж. Дані http://www.trimble.com/GNSS_Planning_Online/#!/IonoInformation свідчать про те, що стан іоносфери протягом цих діб був задовільним.

З цих спостережень сформовані три мережі, що дасть змогу отримати достовірні результати. Схеми цих мереж подано на рисунку.

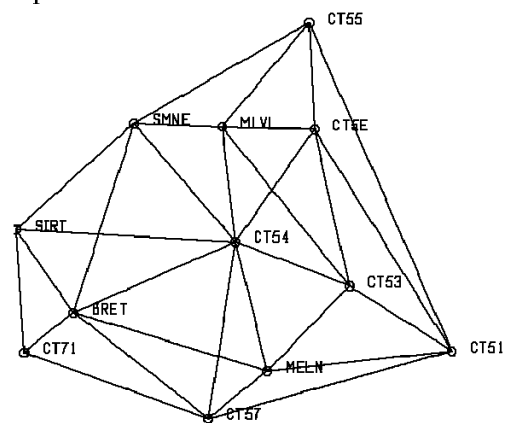
Перша з них складається з 12 перманентних станцій та 30 векторів з довжинами від 8,6 до 49,0 км. Середнє значення довжин векторів у мережі становить 21,9 км. Друга мережа складається також з 12 перманентних станцій і 33 векторів, довжини яких змінюються від 8,6 до 46,7 км, а їх середня довжина становить 22,7 км. І третя мережа складається з 11 станцій, які з'єднані 28 векторами з довжинами від 13,4 до 41,1 км, середнє значення довжин векторів – 24,1 км. Отже, мережі сформовані так, що кількість станцій у них, векторів та їхні довжини є близькими за значенням.

Опрацювання результатів спостережень виконано програмою Trimble Business Center, яка дає змогу встановлювати будь-які значення кута відсічки, вилучати з опрацювання вибрані супутники, не брати до уваги результати спостережень на частоті L2. Ці можливості використано для формування сеансів спостережень різної тривалості дво- і одночастотними приймачами за різних кутів відсічки.

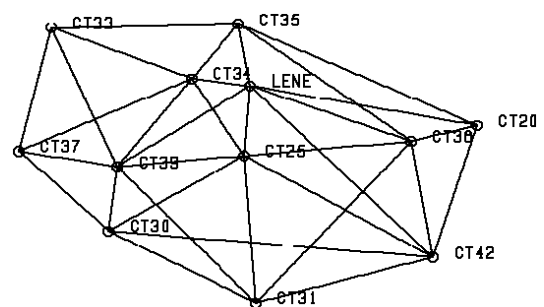
За період, за який нами взяті результати спостережень, проаналізовано залежність показника GDOP від зміни значення кута відсічки для

кожної супутникової системи зокрема. Отже, за висоти GPS-супутників 10° протягом шести діб для трьох мереж цей показник здебільшого не перевищував трьох одиниць, тільки для пункту CT54 він сягнув значення 5,4 (близько шіснадцятої години протягом 1–2 хвилини), тоді як для ГЛОНАСС GDOP не перевищував чотири одиниці для всіх пунктів трьох мереж. Збільшення кута відсічки погіршує геометричну конфігурацію супутників. Так, за висоти супутників над горизонтом 30° для системи GPS є окремі випадки, коли показник GDOP перевищує

Мережа № 1



Мережа № 2



Мережа № 3

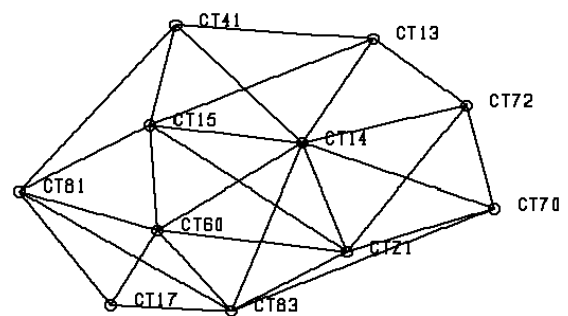


Рисунок. Схеми мереж
Figure. Schemes of Geodetic GNSS Network

10 одиниць, тоді як для системи ГЛОНАСС показник геометричного погіршення точності, навпаки, тільки в деяких випадках не перевищує 10 одиниць. Отже, загалом можна стверджувати, що геометрична конфігурація супутників GPS є задовільною та дасть можливість досягти необхідної точності визначення поло-

ження пунктів навіть за кута відсічки 30°. Якщо, крім сигналів супутників системи GPS, приймати ще сигнали системи ГЛОНАСС, то очевидно, що показники погіршення точності не стануть більшими. Крім того, необхідно також враховувати, в який проміжок часу протягом дня виконуватимуть спостереження.

Таблиця 1

Мінімальні і максимальні СКП положення пунктів у мм першої мережі, отримані під час спостереження супутників системи GPS та систем GPS і ГЛОНАСС за всіх комбінацій кутів відсічки та тривалості сеансів спостережень
Minimum and maximum RMS values (mm) obtained in network № 1 for various elevation angle and observation duration by single- and dual-frequency GNSS receivers

Тривалість сеансу, год		Кут відсічки, °						
		0	5	10	15	20	30	40
двочастотні приймачі / одночастотні приймачі								
Система GPS								
24	max	7,8/24,4	7,9/24,7	7,8/24,5	8,5/29,3	7,9/24,6	11,7/29,1	12,2/27,2
	min	1,6/1,7	1,6/1,7	1,6/1,7	1,3/1,8	1,7/0,9	3,2/1,9	1,6/3,8
12	max	10,1/25,9	10,3/26,2	9,8/25,9	10,0/25,4	9,6/26,7	9,5/22,0	11,9/41,5
	min	1,7/1,6	1,8/1,6	1,7/1,6	1,7/1,0	1,9/0,6	1,5/3,3	1,8/2,9
6	max	10,7/30,3	10,6/30,3	11,1/30,3	10,3/30,0	10,0/27,4	10,1/28,9	13,3/59,0
	min	1,9/0,8	1,9/0,8	1,9/0,8	1,7/0,8	1,8/0,6	1,8/2,6	2,1/3,5
3	max	11,6/31,3	11,6/31,3	11,6/31,1	11,6/31,3	11,4/30,3	12,3/27,6	15,3/37,6
	min	2,2/1,4	2,1/1,4	2,2/1,5	2,2/2,1	1,9/1,5	4,7/2,4	7,3/8,0
2	max	13,0/32,2	13,0/32,4	13,0/32,3	12,9/31,7	12,8/31,2	15,6/29,8	18,9/110,5
	min	2,3/2,3	2,3/2,4	2,4/2,3	2,3/3,0	2,3/2,4	2,2/3,5	4,3/16,4
1	max	12,6/34,2	12,7/34,3	13,1/34,2	13,4/34,3	13,4/34,2	11,9/67,6	68,2/158,4
	min	4,5/8,9	4,5/8,9	4,5/8,9	2,5/9,4	3,0/6,9	2,7/8,8	39,7/10,7
0,5	max	14,9/36,9	14,3/36,8	14,8/36,9	14,5/43,4	14,8/81,1	17,3/116,0	215,2/278,1
	min	3,6/15,3	3,4/15,3	3,6/15,3	2,8/19,0	2,6/28,2	5,1/18,4	58,4/71,7
0,25	max	16,9/45,7	16,9/45,6	16,9/45,7	14,2/71,1	13,7/112,2	20,5/151,7	265,4/363,2
	min	11,4/21,2	11,5/21,0	11,4/21,2	6,1/19,5	4,8/19,6	8,2/64,5	102,6/84,9
Системи GPS+ГЛОНАСС								
24	max	8,2/24,6	8,2/24,2	8,2/24,6	8,1/25,7	8,9/26,5	8,7/25,3	9,2/14,0
	min	1,5/2,1	1,7/1,9	1,6/2,1	1,6/2,5	2,1/0,8	1,7/1,6	1,2/1,5
12	max	9,8/28,2	9,5/27,5	9,8/28,2	10,0/30,7	9,7/28,0	10,0/25,5	8,8/22,3
	min	2,0/1,0	2,0/1,0	2,0/1,0	1,7/1,8	2,0/1,7	1,8/2,6	1,5/3,6
6	max	10,5/28,6	10,6/28,7	10,5/28,6	10,5/34,6	9,9/26,4	9,7/24,3	10,3/25,7
	min	2,1/2,3	2,1/2,3	2,1/2,3	2,1/2,6	1,8/2,2	1,9/0,8	2,1/3,7
3	max	11,3/32,4	11,3/32,2	11,3/32,2	10,7/29,1	10,6/28,0	10,4/24,7	11,3/23,4
	min	2,1/2,2	2,1/2,0	2,1/2,2	2,0/1,7	1,9/1,4	2,3/1,4	3,6/2,7
2	max	12,2/33,9	12,3/33,5	12,2/33,8	12,1/30,8	12,0/29,4	11,6/26,2	12,3/28,1
	min	2,3/2,6	2,3/2,7	2,3/2,6	2,3/1,9	2,4/2,0	2,3/1,8	4,7/4,1
1	max	12,1/33,1	12,3/33,1	12,1/33,1	12,0/32,6	12,3/26,9	12,0/27,2	13,7/64,5
	min	2,9/5,9	2,9/6,0	2,9/5,9	2,2/5,3	2,2/5,1	2,4/4,7	7,2/14,8
0,5	max	13,5/32,0	13,4/32,1	13,5/32,0	13,3/32,5	13,6/31,9	20,1/63,6	23,8/224,9
	min	2,0/11,6	2,0/11,6	2,0/11,6	2,1/10,8	2,7/15,7	3,7/18,8	9,3/76,9
0,25	max	13,8/37,8	13,7/63,5	13,8/37,8	11,9/45,7	13,0/91,4	17,9/168,3	173,4/323,5
	min	7,7/19,6	7,7/20,1	7,7/19,5	2,0/22,8	2,6/23,6	9,7/50,7	51,4/56,8

Для кожної мережі сформовано по шість сеансів спостережень дво- і одночастотними приймачами сигналів супутників двох систем (GPS і GLONASS) тривалістю 24 години, 12 годин, по дванадцять сеансів тривалістю 6 годин та по двадцять чотири сеансів тривалістю 3, 2, 1, 0,5 і 0,25 год. Сеанси вказаної вище тривалості опрацьовано в семи варіантах, тобто встановивши певне значення кута відсічки, а саме: 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 30° і 40° . Отже, для трьох мереж опрацьовано по 3024 сеанси спостережень двочастотними приймачами та такої самої кількості одночастотними приймачами.

Крім того, для порівняння такі самі сеанси сформовано із результатів спостережень супутників тільки системи GPS. Отже, загальна кількість сеансів становить 12096.

Результатом опрацювання є планові координати пунктів трьох мереж, які порівнювалися з їх істинними значеннями. За різницями координат, отриманими із опрацювання і їх істинними значеннями обчислені СКП координат пунктів та положення пунктів трьох мереж за кожного із кутів відсічки для всіх тривалостей сеансів спостережень супутників двох систем і тільки системи GPS.

Результати

Виконавши опрацювання спостережень різної тривалості супутників системи GPS і супутників двох систем – GPS і GLONASS та провівши врівноваження трьох мереж, отримали середні квадратичні помилки положення пунктів за різних кутів відсічки. Максимальні та мінімальні значення СКП положення пунктів першої мережі для всіх комбінацій тривалості спостережень і кутів відсічки наведено в табл. 1.

Першим значенням у табл. 1 є СКП положення пунктів, які одержані за результатами спостережень двочастотними приймачами, а другим, після похилої риски – СКП пунктів, отримані за спостереженнями одночастотними приймачами.

Як бачимо, вплив кута відсічки на точність положення пунктів залежить і від тривалості спостережень і від типу приймача. У разі виконання спостережень одночастотними приймачами точність положення пунктів за такої самої тривалості спостережень і тих самих кутів відсічки є в 2–3 рази нижчою, ніж використо-

вуючи двочастотні приймачі. Вплив зміни кута відсічки на точність визначення положення пунктів є більшим у разі виконання спостережень одночастотними приймачами.

Потрібно також зазначити, що під час спостережень двочастотними приймачами тривалістю від 24 до 3 год супутників тільки однієї системи отримано практично таку саму точність положення пунктів, як і приймаючи сигнали двох систем. За подальшого зменшення тривалості спостережень зростає ефективність використання супутників двох систем.

Спостереження одночастотними приймачами супутників двох систем підвищує точність положення пунктів у сеансах кожної тривалості. Притому найвідчутливішим є підвищення точності під час сеансів спостережень тривалістю меншою від 2 год, зокрема, тривалості 0,25 год.

У табл. 2 виписано кути відсічки, за яких максимальні СКП положення пунктів трьох мереж мають найменше і найбільше значення за результатами спостережень супутників тільки системи GPS дво- і одночастотними приймачами.

Як бачимо, у сеансах спостережень кожної тривалості обома типами приймачів, найменша точність положення пунктів спостерігається здебільшого за кута відсічки 40° . Притому різниця між мінімальним і максимальним значеннями СКП зростає у разі зменшення тривалості сеансів спостережень, особливо, до однієї години і менше.

За тривалості спостережень 24 год двочастотними приймачами для першої мережі найвищою точність положення пунктів є для кутів відсічки 0° та 10° , для другої мережі найкращі результати отримані, якщо кут відсічки дорівнює 20° , а для третьої мережі – 40° .

За результатами спостережень від 12 до 1 год мінімальні СКП, отримані здебільшого для кутів відсічки від 20° до 30° . Найменші значення СКП пунктів, одержані за результатами спостережень тривалістю сеансів 0,5 год і 0,25 год за кутів відсічки 5° і 20° , збільшення кута відсічки спричиняє значне погіршення точності положення пунктів. За результатами спостережень тривалістю від 12 до 2 годин одночастотними приймачами, найкращу точність положення пунктів отримали для кутів відсічки 20° та 30° , а тривалістю 1 год – для кута відсічки 20° . Виконуючи спостереження тривалістю від

0,25 до 0,5 год, потрібно встановлювати таке значення кута відсічки, яке не перевищує 15°.

У табл. 3 виписано такі самі дані, як в табл. 2, але визначені за результатами спостережень супутників двох систем GPS і GLONASS. Тут характер впливу зміни кута відсічки є дещо іншим. Для кута відсічки 40° найнижчою є точність положення пунктів під час сеансів тривалістю 1, 0,5 і 0,25 години.

Виконавши спостереження двочастотними приймачами супутників двох систем тривалістю 24 год, найвищу точність положення пунктів одержали, встановивши кут відсічки такими, що дорівнює 15° (для третьої мережі – 5°). Най-

краща точність визначення положення пунктів, за результатами спостережень тривалістю 12 год цими самими приймачами, одержана для кутів від 20° до 40°. Зменшення кута відсічки зумовлює поступове погіршення точності. Під час спостережень тривалістю 6, 3, 2 і 1 год найвищу точність пунктів одержали для кута відсічки 30°. Необхідно зауважити, що за тривалості спостережень 1 год для першої та другої мереж найкращі результати отримані не тільки за кута відсічки 30°, але і 0–15°. За результатами спостережень тривалістю 0,5 та 0,25 год найменше значення СКП отримано за кута відсічки 15–20°.

Таблиця 2

Кути відсічки, для яких отримані найменші і найбільші СКП положення пунктів, визначено за результатами спостережень супутників тільки системи GPS дво- і одночастотними приймачами
Elevation mask angle, for which achieved the best and the worst positioning accuracy, when observing GPS system only with single- and dual-frequency receivers

№ мережі	Дwochастотні приймачі								Одночастотні приймачі							
	Тривалість сеансу, год								Тривалість сеансу, год							
	24	12	6	3	2	1	0,5	0,25	24	12	6	3	2	1	0,5	0,25
min																
1	0,10	30	20	20	20	30	5	20	0	30	20	30	30	0,10, 20	5	5
2	20	30	30	20	30	0,10	20	5	40	30	30	20	20	20	15	15
3	40	30	30	40	30	30	20	20	30	30	30	30	30	20	0	15
max																
1	40	40	40	40	40	40	40	40	15	40	40	40	40	40	40	40
2	30	40	40	40	40	40	40	40	0	40	40	40	40	40	40	40
3	15	40	40	10-15	40	40	40	40	5	40	40	0-10	40	40	40	40

Таблиця 3

Кути відсічки, для яких отримані найменші і найбільші СКП положення пунктів, визначені за результатами спостережень супутників систем GPS та ГЛОНАСС дво- і одночастотними приймачами
Elevation mask angle, for which achieved the best and the worst positioning accuracy, observing two systems satellites (GPS and GLONASS) with single- and dual-frequency receivers

№ мережі	Дwochастотні приймачі								Одночастотні приймачі							
	Тривалість сеансу, год								Тривалість сеансу, год							
	24	12	6	3	2	1	0,5	0,25	24	12	6	3	2	1	0,5	0,25
min																
1	15	40	30	30	30	15,30	15	15	40	40	30	40	30	20	20	0,10
2	15	30	30	30	30	0-10, 30	20	15-20	40	30	30	30	30	30	20	0-10
3	5	20	30	30	30	30	15	20	40	30	30	30	30	30	30	20
max																
1	40	15, 30	5	0-10, 40	5, 40	40	40	40	20	15	15	0-10	0	40	40	40
2	30	15	0, 40	40	40	40	40	40	20	20	15	0, 10	0-10	40	40	40
3	30	15	15	20	0-15	40	40	40	15	0, 10	40	5	40	40	40	40

Найгіршу точність визначення положення пунктів отримали, приймаючи сигнали супутників двох систем двочастотними приймачами тривалістю 24 год за кутів відсічки 30° і 40° для першої мережі. За тривалості 12 год найнижчою є точність для кута відсічки 15° (для першої мережі також для кута 30°). Якщо кут відсічки дорівнює 40° , то для першої мережі значення СКП сягають максимальних значень за тривалості сеансів спостережень від 0,25 до 3 год, для другої мережі за тривалості сеансів від 0,25 до 6 год, а третьої мережі – від 0,25 до 1 год.

Найвищої точності положення пунктів досягнуто, виконуючи сеанси спостережень тривалістю 24 год одночастотними приймачами супутників двох систем за кута відсічки 40° , а тривалістю 12, 6, 3 і 2 год – за кутів відсічки не менших за 30° . Для кутів відсічки $20\text{--}30^\circ$ найкращою є точність за тривалості сеансів від 1 до 0,5 год. За результатами спостережень 0,25 год найменші значення помилок отримані за кутів відсічки від 0° до 10° та 20° для третьої мережі. Максимальні значення СКП отримано для спостережень тривалістю 12 і 24 год за кута відсічки $15\text{--}20^\circ$. Однак для третьої мережі за тривалості спостережень 12 год найбільші значення СКП одержані за висоти супутників над горизонтом 0° і 10° . Для сеансів тривалістю 3 год найбільші значення СКП отримані, якщо кут відсічки змінюється від 0° до 10° . За результатами спостережень тривалістю не більше як 1 год максимальні СКП пунктів, отримані, встановивши кут відсічки 40° . Зі зменшенням тривалості спостережень (1 год і менше) та збільшенням кута відсічки точність визначення положення пунктів погіршується, очевидно це пов'язано з тим, що зі збільшенням кута відсічки та зменшенням тривалості сеансів спостережень зменшується кількість супутників, до яких приймач вимірює віддалі.

Результати, отримані для трьох мереж показують, що точність положення пунктів, отримана за спостереженнями двочастотними приймачами тривалістю від 24 до 3 год супутників тільки системи GPS за кутів відсічки від 0° до 30° є дуже близькою до точності, одержаної за спостереженнями такого ж типу приймачами супутників двох систем. Підвищення точності положення пунктів у мережах, одночасно вико-

ристовуючи сигнали супутників систем GPS та ГЛОНАСС, не перевищує 10 %. Вплив одночасного спостереження супутників двох систем збільшується у випадку зменшення тривалості сеансів. Зокрема, значно підвищується точність визначення положення пунктів під час спостереженнях тривалістю 0,5 і 0,25 год.

Наукова новизна та практична значущість

Дослідження можливості та ефективності збільшення кута відсічки за наявності більшої кількості супутників ГНСС, виконані використовуючи великий об'єм даних – спостережень у трьох мережах з близькими параметрами, що робить одержані результати більш обґрунтованими порівняно з результатами, отриманими іншими дослідниками.

Проведене дослідження дало можливість встановити оптимальні значення кутів відсічки під час створення супутникових геодезичних мереж за спостереженнями супутників тільки системи GPS та разом двох систем GPS та ГЛОНАСС дво- і одночастотними приймачами.

Висновки

1. Під час створення супутникових мереж за спостереженнями супутників тільки системи GPS дво- і одночастотними приймачами не рекомендується використовувати кут відсічки 40° . За тривалості сеансів спостережень від 12 до 1 год обома типами приймачів варто встановлювати кут відсічки, що дорівнює 20° , а опрацювання мережі можна виконувати за кутів відсічки 20° і 30° та вибрати значення кута, для якого одержані кращі результати. Виконуючи спостереження одночастотними приймачами тривалістю 1 год і двочастотними приймачами тривалістю від 0,25 до 0,5 год рекомендується встановлювати кут відсічки 20° . За тривалості спостережень одночастотними приймачами від 0,25 до 0,5 год варто встановлювати кут відсічки дорівнює 15° .

2. Кут відсічки 30° рекомендується встановлювати, виконуючи спостереження супутників систем GPS і ГЛОНАСС тривалістю від 12 до 3 год, а опрацювання виконати за кутів відсічки 30° і 40° та вибрати кращий з них, тобто для якого одержані кращі результати. Виконуючи короткі сеанси спостережень обома типами

приймачів, варто використовувати сигнали супутників, які розташовані на висоті 30° над горизонтом, зокрема спостереження тривалістю 2–1 год. Використовуючи двочастотні приймачі для спостережень тривалістю 0,5–0,25 год необхідно встановлювати значення кута дорівнює 20° або 15° . Якщо спостереження виконують одночастотними приймачами тривалістю 0,5 год, то рекомендується значення кута 20° , а тривалістю 0,25 год – від 0° до 10° .

3. Під час виконання спостережень супутників тільки системи GPS двочастотними приймачами тривалістю від 24 до 3 год точність пунктів у мережах є практично такою самою як і в разі використанні сигналів двох систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Інструкція про побудову державної геодезичної мережі з використанням супутникових радіонавігаційних систем. – Офіц. вид. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2002. – 56 с.
- Янчук О.Є. Геодезичний моніторинг техногенно-навантажених територій: дис. канд. техн. наук 05.24.01 / Янчук Олександр Євгенович. Рівне., 2011. – 173 с.
- Dawod G. M. Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt / G. M. Dawod // Water Science Magazine. 2003. – № 33. – pp. 33–39.
- Doberstein D. Fundamentals of GPS Receivers: A Hardware Approach / D. Doberstein. – Wien–New York: Springer Science & Business Media, 2012. – 329 p.
- El-Rabbany A. Introduction to GPS: The Global Positioning System / A. El-Rabbany // Artech House. – 2002. – 176 p.
- GPS guidebook. Standards and Guidelines for Land Surveying Using Global Positioning System Methods. – State of Washington Department of Natural Resources, 2004. – 66 p.
- Grewal M. S. Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration / M. S. Grewal, A. P. Andrews C. G. Bartone. – Third edition // John Wiley & Sons Ltd. – 2013. – 608 p.
- Groves P. D. Principles of GNSS, Inertial, and Multi-sensor Integrated Navigation Systems / P. D. Groves. – Second edition. – Artech House, 2013 – 800 p.
- Guideline for Control Surveys by GNSS. Special Publication 1. Version 2.0. – Intergovernmental Committee on Survey and Mapping, 2012. – 14 p.
- Guidelines and Specifications for Global Navigation Satellite System Land Surveys in Connecticut. – The Connecticut Association of Land Surveyors, Inc, 2008. – 12 p.
- Guidelines for the use of GNSS in land surveying and mapping. – 2nd ed. – RICS guidance note, 2010. – 82 p.
- Hofmann-Wellenhof B. Navigation. Principles of positioning and guidance / B. Hofmann-Wellenhof, K. Legat, M. Wieser. – Wien–New York: Springer Science & Business Media, 2003. – 427 p.
- Hofmann-Wellenhof B. GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, E. Wasle. – Wien–New York: Springer Science & Business Media, 2008. – 516 p.
- Lange A. F. Differential GPS Update / A. F. Lange, R. Buick [V. H. Singhroy, D. T. Hansen, R. R. Pierce, A. I. Johnson] // Spatial methods for solution of environmental and hydrologic problems – Science, Policy and Standardization, ASTM STP 1420 / ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003. – P. 18–25.
- Precyzyjne pozycjonowanie w oparciu o GNSS. Załącznik nr 2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://bip.msw.gov.pl/download/4/9204/Zalacznik_nr_2_do_rozporzadzenia.pdf
- Principles and Practice of GPS Surveying. [Електронний ресурс]. – режим доступу: http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.htm
- Richharia M. Satellite Systems for Personal Applications: Concepts and Technology / M. Richharia, L. D. Westbrook // John Wiley & Sons Ltd. – 2010. – 476 p.
- TxDOT Survey Manual / Texas Department of Transportation, 2011. – 338 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/ess/manual_notice.htm

Я. М. КОСТЕЦКАЯ, Ю. Р. ПИШКО, И. М. ТОРОПА

Кафедра инженерной геодезии, Национальный университет “Львовська політехніка”, ул. Карпинского 6, 79013, Львов; Украина, 79013, тел. +38 (032) 258-23-87, ел. пошта kaf.IGD@gmail.com.

ВЛИЯНИЕ УГЛА ОТСЕЧКИ И ТИПА ПРИЕМНИКА НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТОВ

Цель. Исследовать влияния изменения угла отсечки на точность определения положения пунктов геодезических сетей, при разл. продолжительность времени наблюдений двух- и одночастотными приемниками спутников только системы GPS и одновременно двух систем: GPS и ГЛОНАСС. **Методика.** Исходными данными для исследования

послужили результаты наблюдений на 35 перманентных станциях Франции в течение 10 суток. По этим данным сформированы три сети. В двух из них количество станций равно 12, а в третьей – 11. Средняя длина сторон изменяется от 21,9 км до 24,1 км. Также с WEB-страницы www.rgp.ing.fr были получены координаты станций, которые в исследовании считались истинными. Для обработки результатов спутниковых измерений использовали программное обеспечение Trimble Business Center, изменяя такие параметры, как продолжительность наблюдений (24, 12, 6, 3, 2, 1, 0,5 и 0,25 ч.) и угол отсечки (0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 30° и 40°). Для каждой из сетей сформировано сеансы наблюдений двух- и одночастотными приемниками сигналов спутников систем GPS и ГЛОНАСС и только системы GPS. Обработано в целом 12096 сеансов. Сравнив значения истинных и плановых координат пунктов, определенных по результатам наблюдений, были получены средние квадратические ошибки положения пунктов. **Результаты.** Анализ значений средних квадратических ошибок положения пунктов, полученных по результатам наблюдений двух- и одночастотными приемниками спутников только системы GPS, показал что точность определение положения пунктов является самой низкой в случае продолжительности наблюдений от 0,25 ч. до 12 ч. и угле отсечки 40°, а самая высокая имеет место при углах отсечки 20°... 30° и продолжительности сеансов от 1 до 12 часов. При использовании двух- и одночастотных приемников для наблюдений спутников двух систем (GPS и GLONASS) продолжительностью времени от 1 до 12 ч. наилучшая точность пунктов была получена при угле отсечки 30°, тогда как самая низкая, в основном, при углах отсечки от 0° до 15°, а при продолжительности измерений не более 1 часа – 40°. При выполнении спутниковых измерений продолжительностью 0,5 – 0,25 ч. точность определения положения пунктов наивысшая, когда угол отсечки равен 15° – 20° для двухчастотных приемников. Кроме этого, выполняя наблюдения двухчастотными приемниками спутников только системы GPS продолжительностью от 24 до 3 ч. точность спутниковых измерений практически такая же как и при использовании сигналов спутников двух систем. **Научная новизна и практическая значимость.** Проведенные исследования эффективности увеличения угла отсечки при наличии большего числа GNSS-спутников, используя большой массив данных, делает полученные результаты более достоверными по сравнению с результатами, полученными другими исследователями. Результаты исследования дают возможность установить оптимальные значения углов отсечки при создании спутниковых геодезических сетей по наблюдениям спутников только системы GPS и вместе двух систем GPS и ГЛОНАСС двух- и одночастотными приемниками.

Ключевые слова: спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС; угол отсечки; продолжительность сеансов наблюдений; точность положения пунктов.

YA. M. KOSTETSKA, YU. R. PISHKO, I. M. TOROPA

Department of Engineering Geodesy, National University Lviv Polytechnic, Karpinskyy str., 6, 79013, Lviv, Ukraine, tel. +38 (032) 258-23-87, e-mail: kaf.IGD@gmail.com

ELEVATION MASK AND TYPE OF RECEIVER EFFECTS ON POINTS POSITIONING ACCURACY

The main goal of our research was to investigate the influence of the elevation mask, vectors length, GNSS receivers type (single or dual frequency), and observation duration on positioning accuracy in satellite geodetic networks using only GPS and both GPS/GLONASS signals. **Methods.** As the initial information the results of 10 days GNSS observation from 35 permanent stations in France (www.rgp.ing.fr) was taken. These results of observation were used for design three networks: first two contained 12 stations, and third – 11. An average distance between stations varies from 21,9 km to 24,1 km. The satellite observation processing was carried out by Trimble Business Center with changing such parameters as: observation duration – 24, 12, 6, 3, 2, 1, 0,5 and 0,25 hrs; elevation mask – 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 30° and 40°; GNSS receiver types (single or dual frequency). Beside that every network was processed for only GPS signals and for both GPS and GLONASS signals. The total amount of such sessions was 12096. The comparison of real coordinates of stations with the coordinates of the same stations, resulting from such adjustments, allows us to compute RMS of the positioning for such different adjustment conditions. **Results.** The RMS analysis revealed the lowest positioning accuracy for single- and dual-frequency receivers for sessions lasting from 0,25 to 12 hours and elevation angle 40°. The best results should expect for elevation mask 20–30° and sessions duration from 1 to 12 hours. Observing two systems satellites (GPS и GLONASS) for single- and dual-frequency receivers the best results achieved sessions duration from 1 to 12 hours and elevation angle 30°, while the worst accuracy achieved for elevation mask from 0° to 15°, and also for sessions duration less than 1 hour using an elevation mask angle of 40°. For the session durations of 0,5 – 0,25 h. the highest positioning accuracy is for elevation mask of 15–20° (for dual-frequency receivers). Additionally the investigations showed that for dual-frequency receivers with sessions duration from 3 to 24 hours there is no difference which signals are observed GPS or both GPS and GLONASS. **Scientific novelty and practical significance.** The studies of efficient elevation mask increasing with the presence of a larger number of GNSS-satellites and large amount of satellite observations makes obtained results more reliable, compared to the results obtained by other researchers. The result

allows adopting the optimal mask angle in the establishing of satellite geodetic networks with use of single- and dual-frequency receivers, when observing GPS system only and when combined GPS/GLONASS observations.

Key words: GPS and ГЛОНАСС satellite systems, the elevation mask, duration of observation, points positioning accuracy.

REFERENCES

- Instrukcija pro pobudovu deržavnoji heodezyčnoji mereži z vykorystanniam suputnykovych radionavhacijnyh system [Guidelines for establish state geodetic network using satellite navigation systems]. Kyiv, Oficial publication, Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, 2002. – 56 p.
- Yanchuk O. Ye. Geodezychnyj monitoryng texnogenno-navantazhenyx terytorij. [Geodetic monitoring of technologically impacted territories: Ph.D. thesis in Engineering Science: 05.24.01] Rivne, 2011. – 173 p.
- Dawod G. M. Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt. *Water Science Magazine*, 2003, № 33. – P. 33–39
- Doberstein D. *Fundamentals of GPS Receivers: A Hardware Approach* / D. Doberstein. Wien New York: Springer Science & Business Media, 2012. – 329 p.
- El-Rabbany A. *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. Artech House, 2002. – 176 p.
- GPS guidebook. *Standards and Guidelines for Land Surveying Using Global Positioning System Methods*. State of Washington Department of Natural Resources, 2004. – 66 p.
- Grewal M. S., Andrews A. P., Bartone C. G. *Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration* Third edition. John Wiley & Sons Ltd., 2013. – 608 p.
- Groves P. D. *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*. Second edition. Artech House, 2013. – 800 p.
- Guideline for Control Surveys by GNSS. Special Publication 1. Version 2.0. Intergovernmental Committee on Survey and Mapping, 2012. – 14 p.
- Guidelines and Specifications for Global Navigation Satellite System Land Surveys in Connecticut. The Connecticut Association of Land Surveyors, Inc, 2008. – 12 p.
- Guidelines for the use of GNSS in land surveying and mapping. 2nd edition. RICS guidance note, 2010. – 82 p.
- Hofmann-Wellenhof B., Legat K., Wieser M. *Navigation. Principles of positioning and guidance*. Wien New York: Springer Science & Business Media, 2003. – 427 p.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Wien New York: Springer Science & Business Media, 2008. – 516 p.
- Lange A.F., Buick R [V. H. Singhroy, D. T. Hansen, R.R. Pierce, A. I. Johnson] *Differential GPS Update. Spatial methods for solution of environmental and hydrologic problems – Science, Policy and Standardization*, ASTM STP 1420 / ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003. – P. 18–25.
- Precyzyjne pozycjonowanie w oparciu o GNSS. Załącznik nr 2. [Web resource], Available at: http://bip.msw.gov.pl/download/4/9204/Zalacznik_nr_2_do_rozporzadzenia.pdf
- Principles and Practice of GPS Surveying. [Web resource], Available at: http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.htm
- Richharia M., Westbrook L. D. *Satellite Systems for Personal Applications: Concepts and Technology*. John Wiley & Sons Ltd, 2010. – 476 p.
- TxDOT Survey Manual. Texas Department of Transportation, 2011, 338 p. [Web resource], Available at: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/ess/manual_notice.htm

Надійшла 14.10.2014 р.