

УДК. 528.3

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПУНКТІВ У СУПУТНИКОВИХ МЕРЕЖАХ ВІД ТРИВАЛОСТІ СЕАНСІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Я. Костецька, Ю. Пішко, Д. Гешель

Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: супутникові мережі, відносні статичні спостереження, тривалість сеансів *GPS*-спостережень, точність положення пунктів.

Постановка проблеми

Відносні статичні супутникові спостереження широко використовують у всіх видах інженерно-геодезичних робіт, в яких необхідно визначати положення пунктів з високою точністю. Досвід показує, що цей метод забезпечує високу точність визначення координат пунктів. Але досі, незважаючи на дослідження в різних країнах, ще недостатньо вивчене питання залежності точності положення пунктів супутникових мереж від тривалості сеансів спостережень паралельно з дією інших факторів. На практиці тривалість спостережень встановлюють на підставі досвіду та технічних характеристик приймачів, в яких подано точність визначення параметрів векторів у вказаних межах їхньої довжин та тривалості сеансів спостережень. Інформація про те, як змінюється їхня точність у разі іншої тривалості сеансів та дії інших факторів, відсутня, як і інформація про точність отримання координат супутникових мереж під час відносних статичних спостережень цими приймачами. Від тривалості спостережень залежить продуктивність геодезичних робіт, пов'язаних з визначенням положення, та їхня вартість.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Аналіз впливу різних факторів на точність визначення координат пунктів, а також пошук залежності точності параметрів векторів та положення пунктів від цих факторів розглянуто у низці публікацій [1–6].

Залежність точності положення пунктів супутникових мереж досліджували під час відносних статичних спостережень двочастотними приймачами протягом десяти діб на 22 перманентних станціях мережі *CORS*, що дало змогу обчислити параметри 11 векторів завдовжки від 26 км до 300 км [3]. Із спостережень за кожен добу було сформовано по шість чотиригодинних, по чотири шестигодинних, по три восьмигодинних і по два дванадцятигодинні сеанси та по одному одногодинному сеансу спостережень, що дало змогу оцінити точність результатів спостережень на векторах вибраних довжин за різної тривалості сеансів. Мета досліджень – отримати емпіричні формули для оцінювання прямокутних просторових координат пунктів залежно від довжини векторів та тривалості сеансів. Для того, щоб одержати дані для оцінювання координат, одному кінцеві векторів присвоєно координати перманентної станції, яка ним є. Координати другого кінця векторів обчислено за результатами кожного сеансу спостережень та порівняно

з координатами перманентної станції, що є другим кінцем векторів. За різницями координат, отриманими для кожної тривалості спостережень, обчислено середні квадратичні помилки СКП координат кінця векторів різних довжин. На їхній основі одержано емпіричні залежності середніх квадратичних помилок трьох просторових координат кінця вектора n , e , h від довжини вектора та від тривалості сеансів спостережень. Аналіз отриманих результатів дав змогу авторам зробити висновок, що залежністю СКП координат від довжини вектора можна нехтувати і враховувати тільки їхню залежність від тривалості сеансів спостережень. Вони запропонували формули залежності точності координат тільки від тривалості спостережень.

Це саме питання розглянуто у статті [6], метою досліджень в якій є перевірка формул, отриманих в [3]. За тривалості спостережень від 1 до 4 год виявлено, що ці формули можна застосовувати тільки якщо тривалість сеансів більша від 4 год.

Результати дослідження залежності точності визначення положення пунктів від тривалості спостережень, довжин векторів, а також від типу ефемерид (бортові і точні) наведено у роботі [5]. Спостереження провадилися протягом кількох кампаній в 2003–2005 рр. на 31 перманентній станції фінської мережі, з довжинами векторів від 0,6 до 1 069 км. Тривалість відносних статичних спостережень змінювалась від 10 хвилин до 24 годин. Для опрацювання результатів спостережень використали комерційне програмне забезпечення (Trimble Total Control), бо, як зазначають автори, в багатьох дослідженнях із застосуванням спеціальних наукових програм не можна отримати результати, які можна використовувати під час опрацювання результатів спостережень комерційними програмними продуктами. За виведеними авторами формулами СКП положення пунктів побудовано графіки, які дають змогу встановити оптимальну тривалість спостережень, якщо відома довжина вектора для отримання заданої точності пунктів при використанні бортових і точних ефемерид.

У [4] наведено результати дослідження спостережень одночастотними приймачами та оцінено точність для визначення можливості застосування таких приймачів під час створення геодезичних мереж відповідно до польських нормативних вимог. Спостереження тривалістю 15 хв виконано відносним статичним методом на 10 пунктах. Опрацьовано 23 вектори завдовжки 9,629 – 238,693 м. Загальна точність виміряних векторів становить ± 3 мм, отримані з урівноваження поправки у довжини векторів становлять 1–10 мм, а поправки у координати змінюються від 5 до 9 мм. Крім цього, врівноважені значення координат (X, Y) для кількох пунктів порівнювали з коорди-

натами, які визначені класичними наземними методами. Їх різниця змінюється в межах 0–21 мм. За цими результатами зроблено висновок, що відносні статичні спостереження тривалістю не менше за 15 хв можна використовувати в Польщі для створення мереж 3-го класу. На цих самих пунктах виконано спостереження технологією *Stop & Go*, які показали, що ця технологія спостережень дає змогу отримати положення пунктів в плані з точністю, не меншою від 0,1 м.

Метою дослідження [1] було також встановлення оптимальної тривалості спостережень, щоб досягти необхідної точності визначення місцеположення. Виведено емпіричну формулу залежності точності від довжини вектора. Крім цього, зроблено припущення, що, маючи “ідеальне” програмне забезпечення, можна було б усунути деякі неточності, які виникають в процесі опрацювання даних.

Результати дослідження точності положення пунктів супутникових мереж залежно від тривалості GPS-спостережень та довжини вектора наведено в [2]. Для цього використані результати спостережень протягом семи діб, отриманих з перманентних станцій Туреччини. Довжини векторів змінюються від 6 до 340 км, а тривалість спостережень – від 4 до 24 годин. Автори використали для дослідження методу, запропоновану в [3].

Постановка завдання проблеми

Дослідження виконано для з’ясування впливу тривалості сеансів спостережень на точність планових координат пунктів у невеликих супутникових мережах за різних кількості та розташування вихідних пунктів.

Виклад основного матеріалу проблеми

Ми здійснили дослідження в трьох супутникових мережах. Довжини сторін першої мережі в межах 4,4–18 км, а середня довжина сторони становить 12 км, в другій мережі довжини сторін у межах 6–23 км, а середня довжина становить 15 км, а в третій довжини сторін у межах 9–42 км, а середня їхня довжина 27 км, тобто в мережах довжини сторін поступово збільшуються.

Результати однодобових спостережень на цих станціях, які є пунктами геодезичної мережі США, отримано з web-сторінки *www.sopac.ucsd.edu*, де наведено також просторові координати цих станцій. За цими координатами обчислено їхні планові координати в проекції Гаусса–Крюгера. Їх прийнято за істинні і з ними порівнювали координати пунктів врівноважених супутникових мереж, з різними тривалостями сеансів спостережень, різною кількістю та різним розташуванням вихідних пунктів.

Опрацьовано результати спостережень програмою *Trimble Business Center*. З однодобових спостережень формовано по чотири сеанси тривалістю 4 год, 2,5 год і 1 год, і отримано чотири незалежні спостереження в кожній із мереж за кожної тривалості сеансів.

Дослідження першої мережі. Першою є мережа, що складається із восьми пунктів та двадцяти векторів завдовжки 4,4–18 км (рис. 1).

Розглянуто шість варіантів мережі. В перших трьох варіантах прийнято, що вихідними є три пункти. В

першому і другому варіантах вони розташовані на краю мережі, а в третьому – один із них всередині мережі. В наступних трьох варіантах вихідними вважали чотири пункти. В першому з них вони розташовані на краю мережі, а в другому і третьому один із них всередині мережі. В табл. 1 внесено позначення варіантів першої мережі та назви пунктів, які вважались вихідними в кожному із шести варіантів. Варіанти позначені так: перша цифра є номером мережі, цифра в дужках вказує кількість вихідних пунктів у мережі, а остання цифра позначення є варіантом розташування вихідних пунктів. Зірочка вказує, що один із вихідних пунктів міститься всередині мережі, його назву в табл.1 виділено жирним шрифтом. Назви пунктів відповідають рис. 1.

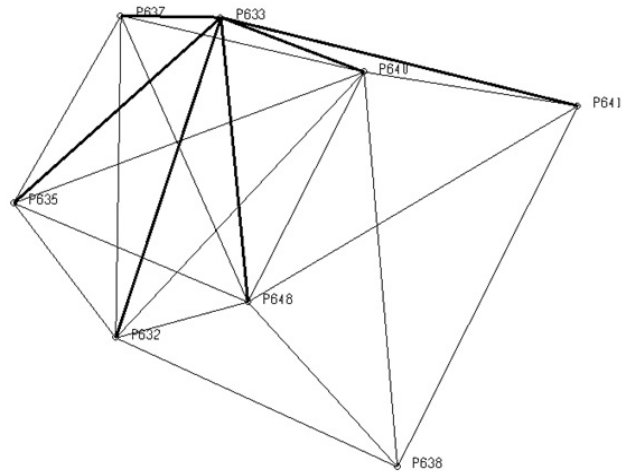


Рис. 1. Схема першої мережі

Таблиця 1

Вихідні пункти у варіантах першої мережі

Варіант	Вихідні пункти				
1.(3).1	P 637	P 638	P 641	–	
1.(3).2	P 635	P 638	P 640	–	
1.(3).3*	P 633	P 640	P 648	–	
1.(4).1	P 635	P 637	P 638	P 641	
1.(4).2*	P 635	P 640	P 641	P 648	
1.(4).3*	P 633	P 635	P 638	P 648	

Виконано опрацювання всіх сеансів спостережень та отримано параметри векторів мережі. Потім кожний варіант мережі врівноважували за результатами одночасних спостережень кожної тривалості, тобто кожний варіант мережі за кожної тривалості сеансу врівноважувався чотири рази за чотирма незалежними сеансами спостережень. Під час врівноваження кожного варіанта мережі фіксувались відповідні пункти і їм присвоювались координати відповідних перманентних станцій. Результатом врівноваження були координати пунктів, знайдені за результатами спостережень. Їх порівняно із координатами перманентних станцій, що містяться в пунктах, які визначались в цьому варіанті.

У табл. 2 зведено значення різниць координат у міліметрах, отриманих за спостереженнями тривалістю 4 год, та координат перманентних станцій для варіантів першої мережі. В ній наведено також середні квадратичні помилки (СКП) координат пунктів, обчислені за цими

різницями, та СКП положення цих пунктів. В цій таблиці вказано також час проведення сеансів. Отже, в дослідженні використано результати спостережень, здійснених вдень, тобто в час, коли зазвичай їх виконують.

Як бачимо, різниці координат пунктів не перевищують 3 мм. Тільки в одному варіанті мережі з трьома вихідними пунктами, з яких один всередині мережі, одна різниця дорівнює 4 мм, тобто є найбільшою. Для цього варіанта найбільшими є також і СКП координат і положення пунктів.

У варіантах з чотирма вихідними пунктами розташування одного з них всередині мережі також призвело до деякого збільшення значень різниць

координат, СКП координат і положення пунктів, але воно є менш істотним, ніж у варіантах з трьома вихідними пунктами.

Для порівняння та аналізу отриманих результатів у табл. 5 внесено для кожного варіанта першої мережі, в якій сеанси тривали 4 години, середні значення модулів різниць координат за осями x і y для всіх пунктів, що визначались, найбільша із них, а також найбільша і найменша СКП положення пунктів.

Аналогічні обчислення виконано в цій мережі за результатами чотирьох сеансів тривалістю 2,5 год. Отримані результати зведено в табл. 6. у рядки, що відповідають першій мережі.

Таблиця 2

Різниці координат пунктів у варіантах першої мережі за сеансами тривалістю 4 години

Назви пунктів, які визначаються	Сеанс		Сеанс		Сеанс		Сеанс		СКП координат, мм		М, мм
	7–11 год		11–15 год		15–19 год		19–21 год		m_x	m_y	
	δx	δy	δx	δy	δx	δy	δx	δy			
Варіант 1.(3).1											
Р 632	0	1	4	-1	0	1	0	-1	2,0	1,0	2,2
Р 633	1	-2	1	1	1	1	1	1	1,0	1,3	1,7
Р 635	2	-1	2	-2	1	2	0	3	1,5	2,1	2,6
Р 640	0	0	-1	0	-1	1	-1	2	0,9	1,1	1,4
Р 648	0	1	1	1	0	-1	1	0	0,7	0,9	1,1
Середнє	0,6	1,0	1,6	1,0	0,6	1,2	0,6	1,4	1,2	1,3	1,8
Варіант 1.(3).2											
Р 632	-1	2	3	-1	0	0	-1	-3	1,7	1,9	2,5
Р 633	0	-1	1	0	2	-1	1	-2	1,2	1,2	1,7
Р 637	-1	1	-1	-1	1	-2	0	-3	0,9	1,9	2,1
Р 641	-1	-1	-1	1	2	-1	1	1	1,3	1,0	1,7
Р 648	-1	1	0	2	-1	-2	0	-1	0,7	1,6	1,7
Середнє	0,8	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2	0,4	2,0	1,2	1,5	1,9
Варіант 1.(3).3*											
Р 632	0	1	4	-2	0	3	-1	-1	2,1	1,9	2,8
Р 635	3	0	1	-3	0	4	-2	2	1,9	2,7	3,3
Р 637	0	2	0	-1	-1	0	-2	-2	1,1	1,5	1,9
Р 638	0	-2	2	1	2	2	3	0	2,1	1,5	2,5
Р 641	-2	-1	-1	1	2	-2	1	0	1,6	1,6	2,0
Середнє	1,0	1,2	1,6	1,6	1,0	2,2	1,8	1,0	1,8	1,8	2,5
Варіант 1.(4).1											
Р 632	-1	2	3	0	0	0	0	-2	1,6	1,4	2,1
Р 633	0	-1	1	1	1	0	1	1	0,9	0,9	1,2
Р 640	0	0	-2	-2	-1	0	-1	2	1,2	1,0	1,6
Р 648	0	1	0	0	-1	-1	1	-1	0,7	1,3	1,5
Середнє	0,25	1,0	1,5	0,75	0,75	0,25	0,75	1,5	1,1	1,2	1,6
Варіант 1.(4).2*											
Р 632	-1	1	3	-1	0	1	0	-2	1,6	1,3	2,1
Р 633	0	-1	1	0	2	-1	1	-1	1,2	0,9	1,5
Р 637	-1	0	-1	-1	1	-2	-1	-2	1,0	1,9	2,1
Р 638	0	1	2	2	0	2	2	-1	1,4	1,6	2,1
Середнє	0,5	0,75	1,75	1,0	0,75	1,5	1,0	1,5	1,3	1,4	2,0
Варіант 1.(4).3*											
Р 632	-1	2	3	-1	0	1	-1	-2	1,7	1,6	2,3
Р 637	-1	1	-2	-1	0	-1	1	-2	1,2	1,3	1,8
Р 640	-2	0	-3	-1	-1	0	-1	2	1,7	1,1	2,1
Р 641	-1	-1	-3	0	1	0	0	3	1,9	1,6	2,4
Середнє	1,25	1,0	2,75	0,75	0,5	0,5	0,75	1,25	1,6	1,4	2,2

Результати обчислень для шести варіантів першої мережі, одержаних за результатами одногодинних сеансів, занесено в табл. 7. Аналіз даних табл. 5–7 наведено нижче.

Друга мережа складається із одинадцяти пунктів, з'єднаних 37 векторами (рис. 2), які є трохи довгими, ніж у першій. Середня довжина сторони в цій мережі – 15 км.

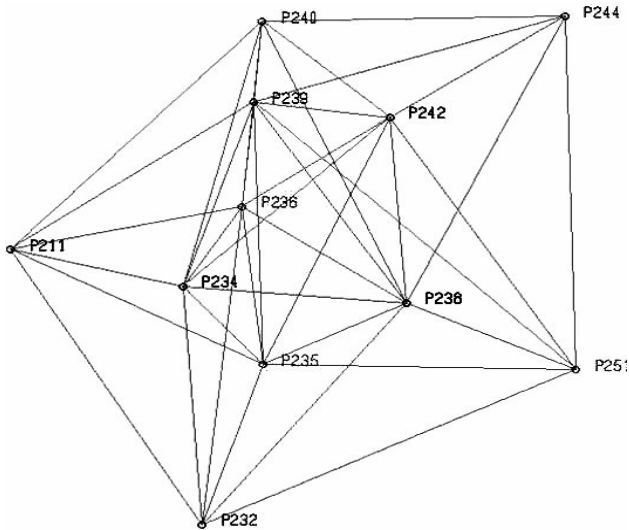


Рис. 2. Схема другої мережі

Дослідження у цій мережі виконано за такою самою методикою, як і в попередній. Розглянуто також шість варіантів мережі. В перших двох прийнято, що три вихідні пункти містяться на краю мережі. В чотирьох наступних варіантах кількість вихідних пунктів дорівнює 4. У перших двох варіантах всі вихідні пункти розташовані на краю мережі, а в останніх двох – два на краю і два всередині мережі. Назви пунктів, які прийнято за вихідні в кожному варіанті цієї мережі, вказано в табл. 3. Вони такі самі, як на рис. 2. Жирним шрифтом виділено пункти, що містяться всередині мережі. Позначення варіантів залишено без змін.

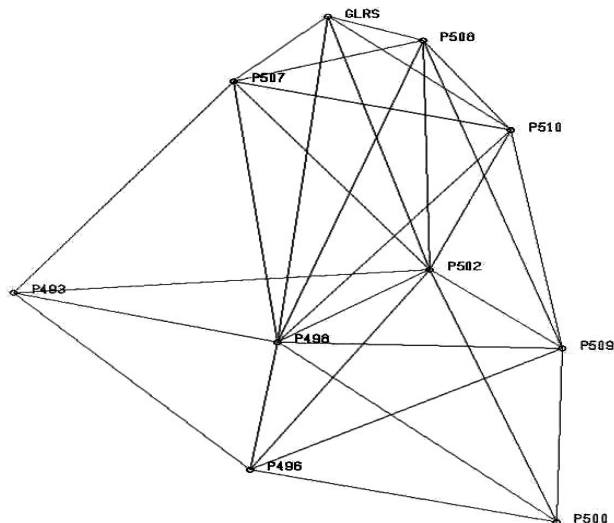


Рис. 3. Схема третьої мережі

Таблиця 3

Вихідні пункти у варіантах другої мережі

Варіант	Вихідні пункти			
2.(3).1	P 232	P 240	P 251	–
2.(3).2	P 211	P 232	P 244	–
2.(3).1	P 211	P 232	P244	251
2.(4).2	P 211	P 232	P 240	P 251
2.(4).3**	P 232	P 235	P 239	P 244
2.(4).4**	P 211	P 236	P 238	P 244

Обчислення виконано в такій самій послідовності, як і в попередній мережі. Отримані результати зведено в рядки, що відповідають варіантам другої мережі табл. 5, 6 і 7, згідно з тривалістю сеансів спостережень. Аналіз даних цих таблиць наведено нижче.

Третя мережа складається із десяти пунктів, з'єднаних 31 вектором, довжина яких – у межах від 9 до 42 км (рис. 3), тобто вони є довгими, ніж в двох попередніх. Тут детальніше досліджено вплив розташування одного з вихідних пунктів всередині мережі. Розглянуто більше варіантів мережі, а саме по дев'ять з трьома і чотирма вихідними пунктами. В шести з них один вихідний пункт міститься всередині мережі. Назви вихідних пунктів у кожному варіанті третьої мережі вказано в табл. 4.

Таблиця 4

Вихідні пункти у варіантах третьої мережі

Варіант	Вихідні пункти		
3.(3).1	GRLS	P 496	P 509
3.(3).2	P 500	P 507	P 510
3.(3).3	P 493	P 496	P 510
3.(3).4*	P 502	P 507	P 510
3.(3).5*	P 496	P 502	P 509
3.(3).6*	P 493	P 500	P 502
3.(3).7*	P 498	P 508	P 509
3.(3).8*	GRLS	P 493	P 498
3.(3).9*	P 498	P 510	P 507
3(4).1	GRLS	P 493	P 500
3(4).2	P 496	P 507	P 508
3(4).3	GRLS	P 493	P 496
3(4).4*	GRLS	P 496	P 502
3(4).5*	P 493	P 500	P 502
3(4).6*	P 496	P 502	P 507
3(4).7*	GRLS	P 493	P 498
3(4).8*	P 496	P 498	P 507
3(4).9*	P 493	P 498	P 508

За результатами опрацювання всіх варіантів мереж за всіма сеансами спостережень заповнено рядки табл. 5, 6 і 7, які відповідають варіантам третьої мережі.

Дані табл. 5, 6 і 7 свідчать, що різниці координат та їх СКП зростають зі збільшенням довжин векторів у мережах при сеансах тривалістю 2,5 і 1 год. Тільки якщо тривалість сеансів 4 год, вплив довжин векторів на точність положення пунктів майже не проявляється. Отже, стверджувати, що залежність між точністю положення пунктів супутникових мереж та довжинами векторів відсутня, не можна. Це певною мірою підтверджують результати досліджень [2, 3].

Таблиця 5

Результати досліджень сеансів тривалістю 4 год

Мережа, довжина векторів, середня довжина, км	Варіант розташування вихідних пунктів	Різниця координат, мм			СКП положення пунктів, мм	
		середні за модулем		найбільша	найбільша	найменша
		по осі x	по осі y			
Перша, 4,4 – 18 12	1.(3).1	1.(3).1	0,9	1,2	4	2,6
	1.(3).2	1.(3).2	1,0	1,4	3	2,5
	1.(3).3*	1.(3).3*	1,4	1,5	4	3,3
	1.(4).1	1.(4).1	0,8	0,9	3	2,1
	1.(4).2	1.(4).2	1,3	1,1	3	2,4
	1.(4).3*	1.(4).3*	1,0	1,3	3	2,1
Друга 7 – 24 15	2.(3).1	2.(3).1	1,7	1,4	6	3,9
	2.(3).2	2.(3).2	2,2	1,1	6	4,3
	2.(4).1	2.(4).1	1,5	1,6	5	3,6
	2.(4).2	2.(4).2	1,6	1,4	6	3,6
	2.(4).3**	2.(4).3**	1,4	1,4	4	3,2
	2.(4).4**	2.(4).4**	1,7	1,4	6	4,0
Третя 9 – 42 27	3.(3).1	3.(3).1	1,0	1,0	4	2,6
	3.(3).2	3.(3).2	1,0	0,9	4	2,6
	3.(3).3	3.(3).3	0,9	0,9	5	3,0
	3.(3).4*	3.(3).4*	1,1	0,9	3	2,2
	3.(3).5*	3.(3).5*	1,2	0,9	3	2,4
	3.(3).6*	3.(3).6*	1,1	0,9	3	2,4
	3.(3).7*	3.(3).7*	1,1	0,9	4	2,6
	3.(3).8*	3.(3).8*	1,1	1,1	4	2,8
	3.(3).9*	3.(3).9*	1,0	0,9	3	2,2
	3.(4).1	3.(4).1	1,0	0,9	2	2,2
	3.(4).2	3.(4).2	0,7	0,8	4	2,3
	3.(4).3	3.(4).3	1,0	0,8	3	2,5
	3.(4).4*	3.(4).4*	1,2	1,0	3	2,4
	3.(4).5*	3.(4).5*	1,0	0,9	3	2,2
	3.(4).6*	3.(4).6*	1,1	0,9	3	2,2
	3.(4).7*	3.(4).7*	1,1	0,8	3	2,2
	3.(4).8*	3.(4).8*	0,9	1,0	4	2,6
3.(4).9*	3.(4).9*	1,2	0,9	4	2,6	

Таблиця 6

Результати досліджень за тривалості сеансів 2,5 год

Мережа, довжина векторів, середня довжина, км	Варіант розташування вихідних пунктів	Різниця координат, мм			СКП положення пунктів, мм	
		середні за модулем		найбільша	найбільша	найменша
		по осі x	по осі y			
Перша 4,4 – 18 12	1.(3).1	1,1	1,1	4	3,3	1,3
	1.(3).2	1,1	1,3	3	2,6	1,7
	1.(3).3*	1,4	1,3	4	3,1	1,1
	1.(4).1	1,1	0,9	3	2,3	0,9
	1.(4).2	1,5	0,9	4	2,7	1,7
	1.(4).3*	1,5	1,6	4	3,0	1,7
Друга 7 – 24 15 км	2.(3).1	1,5	1,7	5	3,7	1,2
	2.(3).2	1,9	1,5	7	4,5	1,5
	2.(4).1	2,0	1,9	8	5,0	2,2
	2.(4).2	1,4	1,8	7	3,8	1,3
	2.(4).3**	1,1	1,6	7	4,9	1,3
	2.(4).4**	1,6	1,9	5	4,0	2,1
Третя 9 – 42 27	3.(3).1	2,1	1,8	6	4,9	2,4
	3.(3).2	2,8	1,8	7	5,7	2,7
	3.(3).3	2,3	2,3	7	5,5	2,3
	3.(3).4*	2,9	2,7	11	6,5	3,1
	3.(3).5*	2,8	2,7	7	5,7	4,0
	3.(3).6*	2,8	1,8	9	5,7	2,3
	3.(3).7*	2,4	2,2	8	6,2	1,4
	3.(3).8*	2,2	3,1	8	6,7	2,5
	3.(3).9*	3,2	2,0	7	5,8	2,6
	3.(4).1	2,0	1,8	5	4,0	2,0
Третя 9 – 42 27	3.(4).2	2,0	1,9	6	4,6	2,0
	3.(4).3	1,8	2,0	5	4,1	2,6
	3.(4).4*	2,4	1,8	6	4,3	2,4
	3.(4).5*	1,8	1,7	4	3,8	2,1
	3.(4).6*	2,4	2,2	6	5,2	2,3
	3.(4).7*	2,1	1,8	5	4,5	2,0
3.(4).8*	1,7	2,1	5	4,1	2,3	
3.(4).9*	1,8	2,0	6	4,7	1,9	

Таблиця 7

Результати досліджень за тривалості сеансів 1 год

Мережа, довжина векторів, середня довжина, км	Варіант розташування вихідних пунктів	Різниці координат, мм			СКП положення пунктів, мм	
		середні за модулем		найбільша	найбільша	по осі x
		по осі x	по осі y			
Перша 4,4-18 12	1.(3).1	2,1	1,8	6	4,5	2,7
	1.(3)2	1,6	2,0	6	4,3	2,5
	1.(3)3*	3,2	2,1	8	6,2	2,9
	1.(4)1	1,6	1,8	6	4,2	2,2
	1.(4)2	2,2	2,1	6	5,0	2,0
Друга 7- 24 15	1.(4)3*	1,7	1,9	7	4,4	2,9
	2.(3).1	1,7	1,6	6	4,6	1,4
	2.(3)2	2,3	2,2	7	5,1	1,7
	2.(4)1	1,5	2,1	7	4,5	1,7
	2.(4)2*	1,7	1,9	6	4,6	1,9
Третя 9 – 42 27	2.(4)3*	2,0	1,7	8	5,9	1,9
	2.(4).4*	2,1	2,1	6	4,2	1,9
	3.(3).1	2,5	3,0	9	8,0	2,3
	3.(3).2	3,5	2,2	10	7,9	2,6
	3.(3).3	2,3	2,8	7	6,1	3,4
	3.(3).4*	3,6	3,0	11	9,3	2,9
	3.(3).5*	1,8	5,4	9	7,8	5,3
	3.(3).6*	4,6	3,8	13	9,0	4,5
	3.(3).7*	2,6	3,4	15	9,6	2,5
	3.(3).8*	3,6	2,5	11	8,1	2,9
	3.(3).9*	3,1	2,6	10	7,2	3,2
	3.(4).1	2,1	2,6	9	6,9	2,4
	3.(4).2	2,6	2,9	8	6,9	2,0
	3.(4).3	1,8	2,8	8	6,6	2,4
	3(4).4*	2,4	3,3	8	7,5	2,7
3(4).5*	2,8	2,4	7	5,9	3,4	
3(4).6*	3,0	2,6	9	7,3	2,8	
3(4).7*	2,5	2,2	7	5,9	3,0	
3(4).8*	3,2	2,6	8	7,4	2,8	
3(4).9*	2,1	2,7	7	4,9	2,7	

Дані табл. 5–7 також підтверджують, що на точність положення пунктів супутникових мереж впливає тривалість сеансів спостережень. У нашому дослідженні вплив тривалості сеансів особливо чітко проявляється під час порівняння СКП положення пунктів мереж при тривалості сеансів 2,5 і 1 год. Так, у перших двох мережах, тобто при довжинах векторів до 24 км і тривалості сеансів 2,5 год, найбільша СКП положення пунктів має значення відповідно 4,7 мм, а при тривалості 1 год – 6,2 мм, а в третій мережі з довжинами векторів до 42 км ці СКП мають значення відповідно 6,7 мм і 9,6 мм. Отже, залежність між точністю пунктів та тривалістю сеансів спостережень збільшується зі зростанням довжин векторів.

За тривалості сеансів спостережень 1 год точність положення пунктів знизилась в середньому вдвічі порівняно з їхньою точністю під час сеансів тривалістю 4 год і на 60 % при сеансах тривалістю 2,5 год.

Кількість вихідних пунктів у мережі є також фактором, який впливає на точність положення пунктів супутникових мереж. У разі зростання кількості вихідних пунктів від трьох до чотирьох за сеансів кожної тривалості спостерігається тенденція до зменшення різниці точних і визначених за спостереженнями координат та зменшення СКП пунктів. Ця тенденція підсилюється, якщо зменшується тривалість спостережень. Найчіткіше вона простежується за тривалості сеансів 1 год.

На точність положення пунктів впливає також розташування вихідних пунктів у мережі. Найслабшим у всіх мережах є вплив цього фактора, коли тривалість

сеансів спостережень 4 год. Він практично відсутній у мережах з середньою довжиною сторін 12 км і 15 км за тривалості спостережень 4 год та в першій мережі за тривалості сеансів 2,5 год. У мережі з середньою довжиною сторін до 15 км за тривалості сеансів 2,5 год середні за модулем різниці координат практично не змінилися у варіантах з вихідним пунктом усередині мережі, але їхня кількість зростає, що викликало збільшення СКП положення пунктів.

Якщо спостереження триває 1 год, розташування одного із вихідних пунктів всередині мережі відчутно впливає на СКП положення пунктів, особливо за трьох вихідних пунктів. Вплив розташування одного пункту всередині мережі послаблюється, якщо зменшуються довжини сторін мережі.

Звернемо увагу, що значення СКП положення пунктів у супутникових мережах, які створюють геодезичні підприємства, будуть дещо більшими, бо в наших дослідження використано спостереження на перманентних станціях, де, як правило, умови для приймання сигналів є добрими і використовуються високоякісні приймачі, а, крім цього, в них відсутні помилки центрування антен приймачів.

Висновки

1. У супутникових мережах з довжинами сторін до 24 км за тривалості сеансів спостережень 4 год точність положення пунктів є не меншою від 4 мм. Зменшення тривалості сеансів до 2,5 год зменшує точність положення пунктів у середньому на 15 %, а зменшення

тривалості сеансів до 1 год зменшує у середньому точність удвічі. У мережі з довжинами сторін до 42 км за тривалості сеансів 4 год точність положення пунктів є також не меншою, ніж 4 мм, при тривалості сеансів 2,5 год стає меншою на 70 %, і за тривалості 1 год майже в 2,5 раза, тобто залежність між точністю пунктів та тривалістю сеансів спостережень змінюється, якщо змінюється довжина сторін у мережі.

2. На точність положення пунктів у супутникових мережах впливає не тільки тривалість сеансів спостережень та довжини векторів, але і кількість та розташування вихідних пунктів.

Література

1. Beutler G. Accuracy and Biases in the Geodetic Application of the Global Positioning System / G. Beutler, I. Bauersima, S. Botton, W. Gurtner, M. Rothacher, T. Schildknecht // Manuscripta Geodetica. – 1989. – Vol. 14. – P. 28–35.
2. Dogan U. Accuracy analysis of relative positions of permanent GPS stations in the Marmara region, Turkey // Survey Review. – 2007. – Vol. 39. – P. 156–165.
3. Eckl M.C. Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration / M.C. Eckl, R.A. Snay, T. Soler, M.W. Cline and G.L. Mader // Journal of Geodesy. – 2001. – Vol. 75. – P. 622–640.
4. Gargula T. An attempt of using one frequency GPS receivers to determination of geodetic networks / T. Gargula, M. Pogan, A. Pieszka // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – Вип. 69. – С. 73–78.
5. Häkli P. Assessment of Practical 3-D Geodetic Accuracy for Static GPS Surveying / H. Koivula, J. Puupponen // Integrating Generations. FIG Working Week 2008, 14-19 June, Stockholm, Sweden.
6. <http://www.fig.net/pub/fig2008/techprog.htm>
7. Soler T. Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions / T. Soler, P. Michalak, N.D. Weston, R.A. Snay, R.H. Foote // GPS Solutions. – 2006. – Vol. 10, № 1. – P. 45–55.

Залежність точності визначення положення пунктів у супутникових мережах від тривалості сеансів спостережень Я. Костецька, Ю. Пішко, Д. Гешель

У трьох супутникових мережах з середніми довжинами векторів 12, 15 і 27 км досліджено точність по-

ложення пунктів залежно від тривалості сеансів відносних статичних спостережень, а також від кількості і розташування вихідних пунктів. Показано, що зменшення тривалості спостережень від 4 год до 1 год зменшує точність положення пунктів мереж з довжинами сторін до 24 км в 2 рази, а мереж з довжинами сторін до 42 км – в 2,5 раза. Виявлено, що на точність положення пунктів у супутникових мережах впливає також кількість і розташування вихідних пунктів.

Зависимость точности определения положения пунктов в спутниковых сетях от длительности сеансов наблюдений Я. Костецкая, Ю. Пишко, Д. Гешель

В трёх спутниковых сетях со средними длинами векторов 12, 15 и 27 км выполнено исследование точности положения пунктов в зависимости от длительности сеансов относительных статических наблюдений, а также количества и расположения исходных пунктов сети. Показано, что при уменьшении длительности наблюдений с 4 часов до 1 часа точность положения пунктов уменьшается в 2 раза при длинах векторов до 24 км и в 2,5 раза при длинах векторов до 42 км. Обнаружено, что на точность положения пунктов спутниковых сетей влияет не только длительность наблюдений и длины векторов сети, но также количество и расположение исходных пунктов.

Dependence of accuracy of definition of position of points in satellite networks from duration of sessions of observations Ya. Kostetskaja, Yu. Pishko, D. Geshel

The investigation of accuracy in three satellite networks with average lengths of vectors 12, 15 and 27 km had been performed. The goal of this study was to find a relation between observing time, number and location of fixed stations (point whose positional coordinates are already known). It is shown, that the reduction of observing time from 4 hours to 1 hour reduces in 2 times the accuracy of network with lengths of vectors up to 24 km at and in 2,5 times at lengths of vectors up to 42 km. It is revealed, that accuracy of point's position is influenced not only duration of observation and lengths of vectors, but also with number and an arrangement of fixing points.

II З'їзд УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА ГЕОДЕЗІЇ І КАРТОГРАФІЇ

31 жовтня – 1 листопада 2011 р.

м. Київ

www.utgk.com.ua

тел.: +380503706402