

ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПУНКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ GPS ТА ГЛОНАСС

Дослідження показали, що використання супутників двох систем підвищило точність положення 45 % пунктів трьох мереж порівняно з точністю пунктів цих мереж, визначених тільки системою GPS і близько 71 % пунктів, визначених тільки системою ГЛОНАСС. Точність положення 66% пунктів, визначених тільки системою ГЛОНАСС, є нижчою від точності пунктів, визначених тільки системою GPS.

Ключові слова: супутникові системи GPS, ГЛОНАСС, супутникові мережі, тривалість сеансів спостережень, точність визначення положення пунктів.

Створення російської глобальної навігаційної супутникової системи ГЛОНАСС відкрило можливості використання двох глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС). Ряд фірм запропонували приймачі, які приймають сигнали супутників цих систем, що дало змогу використовувати сигнали більшої кількості супутників та отримувати більшу кількість виміряних величин для визначення місцеположення приймача. Крім цього, збільшення кількості супутників покращує показник геометрії розташування супутників, що впливає на точність визначення координат пунктів.

Проведені дослідження для виявлення ефекту використання результатів спостережень супутників обох систем [1-10] на точність визначення положення пунктів, а також з метою встановлення точності російської системи [6-10]. Результати досліджень [1, 4, 6, 8, 9] показали, що спільне використання систем підвищує точність визначення положення приймача. В [10] зроблено висновок, що завдяки підвищенню якості геометрії розташування супутників можна покращити точність в 1,5 разів. В [7] рекомендується спільно використовувати ці дві системи у приполярних районах, міських та забудованих територіях.

Проте результати інших досліджень, що виконані за даними спостережень на перманентних станціях, свідчать не на користь такого поєднання систем GPS та ГЛОНАСС. Зокрема в [2] стверджується,

що використання супутників системи ГЛОНАСС при опрацюванні результатів спостережень на перманентних станціях, розташованих на середніх широтах Східної Європи, не покращує точності отриманих координат. Аналогічний висновок зроблено в [3], де розглядалися спостереження на перманентних станціях, які розташовані в Західній Європі.

Як бачимо, висновки, зроблені у вказаних вище роботах, не є однозначними. Звичайно, використання сигналів супутників двох систем повинно привести до підвищення точності, але обидві системи створювались без взаємних узгоджень та погоджень. Тому є ряд відмінностей у функціонуванні цих систем та опрацювання результатів спостережень, які ускладнюють їх спільне використання. Це є причиною того, що точність точних ефемерид Міжнародної служби (IGS) для супутників обох систем є у два рази нижчою, ніж для супутників системи GPS. Крім цього, ця служба не визначає поправок годинників супутників системи ГЛОНАСС, тільки у файли точних ефемерид записує бортові поправки годинників, точність яких не перевищує 0,1 нс [5]. Дещо ускладнює спільне використання двох систем також складність перерахунку результатів вимірювань через відсутність офіційно опублікованої матриці переходу між системами координат, які використовуються в цих системах.

У зв'язку із суперечливими висновками по цьому питанні в публікаціях, а та-

кож приймаючи до уваги впровадження у виробництво приймачів, що дозволяють приймати сигнали супутників декількох ГНСС, нами проведені дослідження, в яких використано однодобові результати спостережень на постійних станціях, що розташовані на території Франції та приймають сигнали обох глобальних навігаційних супутникових систем. Дані взято з WEB-сторінки www.rgp.ign.fr, де також наводяться просторові координати цих станцій, за якими нами обчислені їх планові координати в проекції Гауса-Крюгера. Вони прийняті за істинні і з ними порівнювались координати пунктів врівноважених супутникових мереж, отриманих за спостереженнями різної тривалості.

Перша мережа складається з 12-ти постійних станцій та 33-ох векторів, довжини яких змінюються від 8,6 до 46,7 а)

км. Друга – з 11-ти постійних станцій та 28 векторів з довжинами від 8,6 до 33,1 км. І остання мережа складається з 11-ти станцій, які з'єднані між собою 28 векторами з довжинами від 13,4 до 41,1 км. Отже, як бачимо кількість станцій, векторів та діапазон довжин векторів для цих трьох мереж є майже однаковими. На більшості станцій встановлено приймачі Trimble NetR5, а також антени типу ZephyrGeodetic 2. Схема кожної мережі представлена на рис.1. Трикутниками позначені пункти, прийняті за вихідні.

Опрацювання результатів спостережень виконано програмою Trimble Business Center. При цьому використовувалися точні ефемериди, а кут відсікання прийнято 10°. Дискретність сигналу становить 30 секунд.

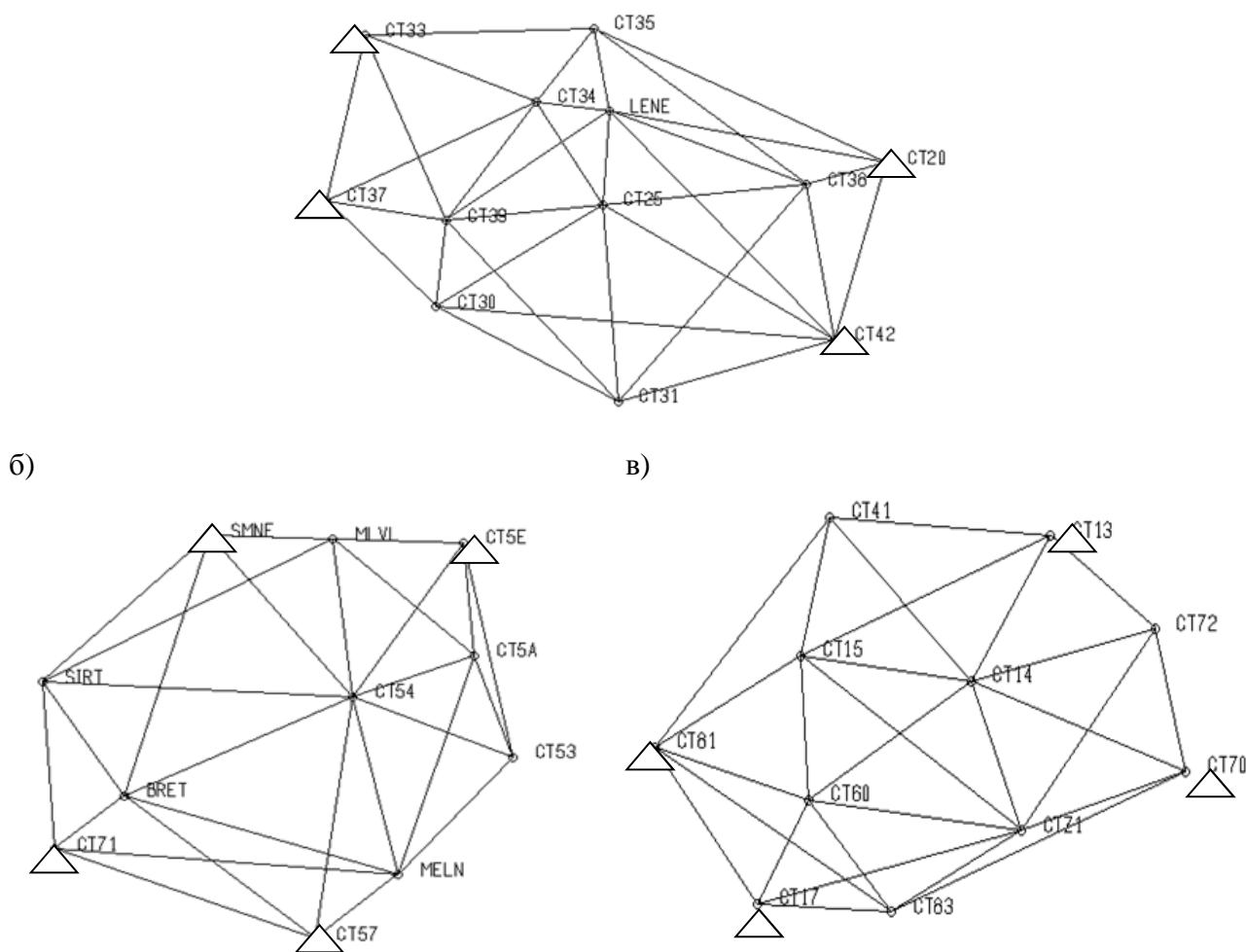


Рис. 1. Схеми мереж а) першої, б) другої, в) третьої.

Оскільки метою даного дослідження було порівняння точності координат пунктів, визначених з використанням супутників тільки систем GPS, тільки системи ГЛОНАСС та їх спільному використанні, розглянуто три випадки, в яких враховувалися сигнали супутників:

- систем GPS та ГЛОНАСС;
- системи GPS;
- системи ГЛОНАСС.

Програмне забезпечення Trimble Business Center дозволяє відключати ті чи інші супутники. Однак опрацювання результатів спостережень, отриманих при використанні тільки супутників системи ГЛОНАСС, дана програма не виконувала. Мережу можна було опрацювати тільки при включенні результатів спостережень декількох супутників GPS. При цьому у їхній роботі не повинно бути ніяких зривів. Найменша кількість GPS-супутників, що дозволяла програмі виконувати опрацювання, становила два, а найбільша – чотири.

З однодобових спостережень двочастотними приймачами сформовано сеанси різної тривалості, а саме 24, 12, 6, 3, 2, 1 та 0,5 год., при цьому використані результати вимірювань, проведених вдень (за винят-

ком сеансу тривалістю 24 год. Таким чином, для кожної мережі та вказаних вище трьох випадків отримано по одному сеансу тривалістю 24 та 12 год., два сеанси тривалістю 6 годин та по чотири сеанси тривалістю 3, 2, 1 та 0,5 год.

Після опрацювання сформованих сеансів мережі врівноважувалися за результатами спостережень супутників кожної системи зокрема та обох систем разом. При цьому фіксувались по чотири пункти в кожній мережі, розташовані по периметру мережі і їм присвоювались координати перманентних станцій. Виконавши врівноваження, визначено просторові координати пунктів, за якими обчислені планові координати в проекції Гауса-Крюгера. Ці значення порівнювались з істинними, тобто значеннями, які отримані з довготривалих спостережень. Обчислені різниці можна вважати помилками координат, за якими визначені помилки положення пунктів, отриманих за спостереженнями супутників кожної системи та обох систем разом. В табл.1. наведені значення помилок, які отримані із сеансу тривалістю 24 год. та 12 год., а для сеансів меншої тривалості наведені максимальні абсолютні значення помилок.

Таблиця 1

Максимальні помилки (в міліметрах) положення пунктів трьох мереж при різній тривалості сеансів

№ п/п	Назва пункту	Назва системи	Тривалість спостережень, год.						
			24	12	6	3	2	1	0,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
мережа №1									
1	СТ25	2 системи	1,1	2,3	3,2	6,1	6,1	8,6	10,6
		GPS	2,8	3,6	3,6	7,2	6,7	9,4	10,8
		ГЛОНАСС	0,9	2,3	6,1	4,5	6,3	9,0	17,6
2	СТ30	2 системи	2,5	2,5	2,6	5,5	6,1	7,9	6,7
		GPS	1,6	2,6	3,5	6,7	6,5	10,8	7,9
		ГЛОНАСС	2,6	0,7	3,6	4,9	8,8	8,3	5,5
3	СТ31	2 системи	2,4	2,3	2,9	5,5	6,5	5,7	9,7
		GPS	1,5	1,5	2,9	5,5	7,7	8,0	9,3
		ГЛОНАСС	4,3	2,4	4,2	12,2	10,8	11,0	25,7
4	СТ34	2 системи	0,5	0,5	1,9	2,5	7,8	3,3	5,7
		GPS	0,5	0,5	1,9	3,3	4,3	3,6	6,0
		ГЛОНАСС	1,4	2,9	4,0	7,4	10,4	6,3	15,5

продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	СТ35	2 системи	1,1	1,4	4,2	5,6	16,4	5,9	10,3
		GPS	0,2	1,4	4,2	6,7	5,8	7,3	9,0
		ГЛОНАСС	1,6	2,7	8,4	9,1	11,3	18,8	23,0
6	СТ38	2 системи	3,6	2,6	2,6	3,6	6,8	6,0	8,0
		GPS	3,4	2,3	3,6	3,6	4,0	7,9	14,3
		ГЛОНАСС	1,3	2,6	6,8	5,8	4,6	15,6	9,0
7	СТ39	2 системи	0,4	1,9	1,9	1,9	5,2	3,2	5,5
		GPS	0,4	1,6	1,9	2,8	4,7	9,1	10,7
		ГЛОНАСС	3,5	1,9	4,8	5,5	8,3	6,3	9,8
8	LENE	2 системи	2,1	3,4	6,2	6,2	9,3	3,4	7,2
		GPS	2,1	3,4	6,2	5,7	4,7	7,7	7,2
		ГЛОНАСС	3,3	7,0	15,0	23,7	23,3	17,5	26,0
мережа №2									
1	СТ5A	2 системи	1,4	1,0	1,4	2,8	3,2	5,0	12,0
		GPS	1,4	2,2	1,4	3,6	3,2	6,0	12,0
		ГЛОНАСС	2,0	5,0	1,0	4,5	4,5	5,8	11,2
2	СТ53	2 системи	2,2	1,0	4,1	4,1	4,1	4,5	5,4
		GPS	2,2	2,0	4,1	4,1	4,1	3,6	6,1
		ГЛОНАСС	3,0	6,0	8,2	8,2	8,5	8,5	12,2
3	СТ54	2 системи	2,2	5,4	3,2	4,5	5,1	5,0	5,4
		GPS	2,0	4,5	2,2	4,5	5,1	5,0	5,4
		ГЛОНАСС	2,0	5,0	6,7	7,2	10,3	13,5	16,4
4	BRET	2 системи	1,0	1,0	4,0	4,0	4,0	7,1	7,2
		GPS	1,4	2,2	4,0	5,1	4,0	7,1	6,7
		ГЛОНАСС	4,0	5,4	5,0	5,7	6,3	7,2	12,1
5	MELN	2 системи	1,0	3,2	4,0	4,5	3,6	3,6	6,3
		GPS	1,0	2,2	5,1	5,0	4,5	7,2	14,9
		ГЛОНАСС	4,0	16,0	2,2	3,2	3,2	3,2	8,6
6	SLVL	2 системи	1,4	1,4	3,2	4,0	4,0	3,0	4,1
		GPS	1,0	1,4	4,1	4,1	3,2	3,2	3,6
		ГЛОНАСС	1,0	1,4	4,1	7,1	10,8	7,8	6,0
7	SIRT	2 системи	1,0	1,0	2,0	4,5	3,0	4,1	3,2
		GPS	1,4	2,0	2,2	4,1	3,2	4,1	3,6
		ГЛОНАСС	4,1	5,0	4,1	5,0	4,5	5,4	6,3
мережа №3									
1	СТ14	2 системи	0,0	1,0	2,0	2,2	2,2	5,4	4,1
		GPS	1,0	1,0	2,2	3,2	3,2	4,1	4,5
		ГЛОНАСС	1,0	1,0	8,1	7,6	11,0	63,3	144,9
2	СТ15	2 системи	1,4	1,4	7,3	7,6	8,1	7,2	9,2
		GPS	1,0	1,0	5,1	6,7	7,2	7,8	9,4
		ГЛОНАСС	3,6	3,6	31,4	13,0	9,2	9,2	15,3
3	СТ41	2 системи	1,4	2,0	2,2	3,2	3,2	8,1	8,1
		GPS	2,2	0,0	4,2	4,5	3,2	9,1	9,0
		ГЛОНАСС	4,0	4,0	12,2	30,4	4,5	8,5	9,4
4	СТ60	2 системи	1,0	1,0	1,0	3,2	3,0	7,3	8,1
		GPS	1,0	2,0	2,0	3,0	3,2	9,5	9,1
		ГЛОНАСС	3,0	3,0	11,2	6,1	5,0	8,2	12,0
5	СТ72	2 системи	1,0	2,2	3,2	3,6	4,2	5,4	8,1
		GPS	1,0	3,0	2,2	3,2	2,8	6,1	7,0
		ГЛОНАСС	1,4	1,4	25,5	13,0	9,8	69,6	141,2
6	СТ83	2 системи	0,0	1,0	2,8	4,1	5,0	5,4	7,6
		GPS	1,0	1,0	2,2	2,2	4,5	6,3	8,6
		ГЛОНАСС	2,0	2,0	8,1	7,3	5,8	7,1	7,1
7	СТZ1	2 системи	0,0	2,0	2,0	4,0	6,0	9,1	9,5
		GPS	0,0	2,0	3,0	5,1	6,1	9,1	10,0
		ГЛОНАСС	2,0	2,0	6,3	14,0	7,0	7,8	8,2

Як показують дані табл.1, в більшості випадків точність положення пунктів, визначених за результатами спостережень супутників двох систем є вищою від точності положення пунктів, отриманих використовуючи супутники тільки однієї системи. Але помилки пунктів, отриманих за спостереженнями системи ГЛОНАСС, досить часто є найбільшими, тобто їх точність є нижчою від точності пунктів, отриманих за спостереженнями супутників тільки системи GPS. Нагадаємо, що при опрацюванні сигналів супутників системи ГЛОНАСС потрібно було включити результати спостережень двох – трьох супутників системи GPS, що, очевидно, підви-

щило точність положення пунктів.

Для порівняння точності положення пунктів, отриманих за спостереженнями супутників обох систем та супутників тільки системи GPS обчислено кількість помилок, які задовольняють нерівності $\delta_{2\text{системи}} < \delta_{\text{GPS}}$, $\delta_{2\text{системи}} > \delta_{\text{GPS}}$ та рівняння $\delta_{2\text{системи}} = \delta_{\text{GPS}}$. Для порівняння точності пунктів, отриманих за спостереженнями супутників ГЛОНАСС та супутників обох систем, обчислено кількість помилок, які задовольняють нерівності $\delta_{2\text{системи}} < \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$, $\delta_{2\text{системи}} > \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$ і рівняння $\delta_{2\text{системи}} = \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$. Отримані результати наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати порівняння точності положення пунктів, отриманих за спостереженнями систем GPS + ГЛОНАСС та кожної зокрема

№ мережі	Загальна кількість помилок	Кількість	Відсоток	Кількість	Відсоток	Кількість	Відсоток
1-й випадок		$\delta_{2\text{системи}} < \delta_{\text{GPS}}$		$\delta_{2\text{системи}} > \delta_{\text{GPS}}$		$\delta_{2\text{системи}} = \delta_{\text{GPS}}$	
1	160	78	48,8	43	26,9	39	24,4
2	140	69	49,3	39	27,9	32	22,9
3	140	52	37,1	30	21,4	58	41,4
Разом	440	200	45,4	112	25,4	129	29,3
2-й випадок		$\delta_{2\text{системи}} < \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$		$\delta_{2\text{системи}} > \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$		$\delta_{2\text{системи}} = \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$	
1	160	115	71,9	36	22,5	9	5,6
2	140	109	77,9	23	16,4	8	5,7
3	140	89	63,6	33	23,6	18	12,9
Разом	440	313	71,1	92	20,9	35	8,0

Порівняння точності положення пунктів, визначених за результатами спостережень супутників двох систем та тільки супутників системи GPS показало, що 45,4% пунктів трьох мереж визначено точніше при використанні двох систем, 29,3% визначено з однаковою точністю і 25,4% отримано з нижчою точністю.

Таке ж порівняння з системою ГЛОНАСС показало, що 71,1% пунктів цих же мереж визначено точніше за спостереженнями супутників двох систем, тобто доповнення спостережень супутників системи ГЛОНАСС супутниками системи GPS підвищило точність 2/3 пунктів. Це свідчить про те, що точність визначення координат системою ГЛОНАСС є нижчою від точності, яку забезпечує система GPS. Для підтвердження цього обчислено кількості по-

милок, що задовольняють нерівності $\delta_{\text{GPS}} < \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$, $\delta_{\text{GPS}} > \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$ і рівняння $\delta_{\text{GPS}} = \delta_{\text{ГЛОНАСС}}$. Отримані результати наведені в табл. 3.

Дві треті пунктів трьох мереж визначено точніше при використанні системи GPS, 6,1% отримано з однаковою точністю і 27,3% отримано точніше системою ГЛОНАСС.

Отже, результати проведених нами досліджень показали, що одночасне спостереження супутників систем GPS і ГЛОНАСС істотно підвищує точність визначення положення пунктів супутникових мереж. Крім цього, дослідження показали, що точність визначення положення пунктів системою ГЛОНАСС є нижчою ніж системою GPS.

**Результати порівняння точності положення пунктів,
отриманих за спостереженнями супутників системи GPS та системи ГЛОНАСС**

№ мережі	Загальна кількість помилок	$\delta_{GPS} < \delta_{ГЛОНАСС}$		$\delta_{GPS} > \delta_{ГЛОНАСС}$		$\delta_{GPS} = \delta_{ГЛОНАСС}$	
		Кількість	Відсоток	Кількість	Відсоток	Кількість	Відсоток
1	160	107	66,9	47	29,4	6	3,8
2	140	101	72,1	32	22,9	7	5,0
3	140	85	60,7	41	29,3	14	10,0
Разом	440	293	66,6	120	27,3	27	6,1

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Заблоцька О., Третяк К. Дослідження ефективності геометричної конфігурації космічних сегментів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництв: зб. наук. пр. – 2000. – Вип. 60. – С. 67–70.
2. Хо́да О. А. Определение координат перманентных станций региональной сети: GPS VS GPS+ГЛОНАСС // Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17. – № 6. – С. 45–53.
3. Bruyninx C. Comparing GPS-only with GPS + GLONASS positioning in a regional permanent GNSS network // GPS Solutions. – 2007. – Vol. 11. – № 2. – P. 97–106.
4. Dodson, A., Moore, T., Baker, D.F. & Swann, J.W. Hybrid GPS + GLONASS // GPS Solutions. – 1999. – Vol. 3. – № 1. – P. 32–41.
5. Dow J. M., Neilan R. E., Rizos C. The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems // J. Geodesy. – 2009. – Vol. 83. – № 3-4. – P. 191–198.
6. Habrich H. Geodetic applications of the Global Navigation Satellite System (GLONASS) and of GLONASS/GPS combinations. PhD Dissertation. - Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland, 1999. - 137p.
7. Kuzin S., Mitrikas V., Revnivykh S., Tatevyan S. On the role of GLONASS for the development of the Russian geodetic reference network // Artificial satellites. – 2007. – Vol. 42. – № 2. – P. 113 – 120.
8. Leick A. GLONASS satellite surveying / Journal of Surveying Engineering. – 1998. – Vol. 124. – P. 91 – 99.
9. Leick A., Li J., Beser Q., Mader G. Processing GLONASS carrier phase observations: theory and first experience. 8th International Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation GPS ION'95, Palm Springs, California, 12-15 September, 1995.
10. Willis P., Beutler G., Gurtner W., Hein G.W., Neilan R.E., Noll C., Slater, J. IGEX: International GLONASS experiment - scientific objectives and preparation / Advances in Space Research. – 1999. – Vol. 23. - № 4, - P. 659-663.

Ya. Kostetska, Yu. Pishko

National University “Lviv Polytechnic”, Institute of Geodesy

ACCURACY OF POINTS DETERMINATION USING SATELLITE SYSTEMS GPS AND GLONASS

Research has shown that using satellites of two systems has increased the accuracy of the position of 45 % of the points of three nets compared to the accuracy of these points determined using only the GPS system and almost 71 % of the points determined by the GLONASS system. The accuracy of the position of 66 % of these points determined only by the GLONASS system is lower than the accuracy of points determined using only the GPS system.

Keywords: satellite systems, satellite network, the duration of observation sessions, the accuracy of position points.

Я.М. Костецкая, Ю.Р. Пишко

Национальный университет "Львовская политехника", Институт геодезии

ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ GPS И ГЛОНАСС

Исследования показали, с помощью двух спутниковых систем точность 45 % пунктов трёх сетей повысилась по сравнению с точностью пунктами, определённых только системой GPS, 71 % пунктов, определённых только системой ГЛОНАСС. Точность положения 66,7 % пунктов определённых системой GPS, ниже точности пунктов, определённых только системой ГЛОНАСС.

Ключевые слова: спутниковые системы GPS, ГЛОНАСС, спутниковые сети, продолжительность сеансов наблюдений, точность определения положения пунктов.