

УДК 528.481

МОЖЛИВІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВИХ РУХІВ НА ТЕХНОГЕННО НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ СРНС

Г. Ішутіна, С. Бєгічев

Придніпровська академія будівництва та архітектури, м. Дніпропетровськ

О. Янчук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

П. Черняга

Національний університет “Львівська політехніка”

Ключові слова: GPS-спостереження, горизонтальні рухи, вертикальні рухи.

Постановка проблеми

Інтенсифікація господарської діяльності людини, процеси урбанізації, збільшення міст призводять до появи осередків з величезною концентрацією населення та об'єктів житлово-комунального господарства, промисловості, енергетики. На територіях населених пунктів та промислових об'єктів змінюються майже всі компоненти природного середовища, які входять у сферу впливу людини: атмосфера, клімат, гідросфера, рослинність, ґрунти, рельєф, верхній шар літосфери, геодинамічні процеси і явища. За влучним висловлюванням Ф.В. Котлова [10], сучасні міста стали трансформаторами природних ландшафтів і геологічного середовища. Наслідком такого техногенного навантаження на геологічне середовище є зміщення та деформації земної поверхні і споруд. Для контролю за їх станом необхідні геодезичні спостереження за просторовими рухами земної поверхні та споруд на ній.

Найпоширенішими методами геодезичного моніторингу, які забезпечують одночасне визначення трьох координат, є спостереження супутниковими приймачами та автоматизованими лазерними сканерами. Розглядаючи можливість використання супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) для цих цілей, потрібно аналізувати кожний об'єкт окремо, залежно від вимог до точності спостереження. Залежно від конкретних умов території та швидкості просторових рухів вимоги до точності вимірювань можуть становити від часток міліметра до десятків сантиметрів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Завдяки значному прогресу в розвитку супутникових технологій нині можна отримувати координати із сантиметровим рівнем точності безпосередньо під час виконання спостережень [13, 14]. Є достатньо публікацій про досягнення міліметрової точності взаємного розташування пунктів за коротких відстаней між ними, які переважно стосуються спеціальних метрологічних полігонів чи базисів [5, 7–9, 15]. Надзвичайно широко використовуються СРНС для вивчення деформацій і рухів земної поверхні у глобальних масштабах. Це пояснюється тим, що для ліній завдовжки декілька тисяч кілометрів вони забезпечують відносні похибки на рівні 10^{-7} [12]. Великого поширення набуває використання супутникових тех-

нологій і на локальних геодинамічних полігонах [1–4]. У зв'язку з цим видається актуальним дослідити умови, за яких можливе визначення просторових рухів із застосуванням супутникових методів, а коли необхідне використання традиційних технологій.

Постановка завдання проблеми

У роботі проаналізовано можливості визначення горизонтальних та вертикальних рухів з використанням СРНС на техногенно навантажених територіях. Досліджено доцільну частоту виконання циклів спостереження залежно від точності визначення приростів координат та швидкостей горизонтальних та вертикальних зміщень.

Виклад основного матеріалу проблеми

Багатогранність задач, розв'язуваних з використанням СРНС, обумовлює різноманітність режимів, методів та засобів виконання спостережень, які вибирають залежно від поставлених завдань та вимог до точності. На точність супутникових вимірювань впливає тривалість сесії спостереження, відстань між базовим та роверним приймачами, закритість небосхилу перешкодами, багатошляховість поширення сигналу, конфігурація сузір'я супутників, іоносферна та тропосферна затримки, інтервал реєстрації даних, типи спостережень та супутникові системи, з якими працює приймач, тощо. Оскільки на точність спостережень впливає багато різноманітних чинників, які неможливо врахувати у межах одного дослідження, задамося набором похибок, з якими можливо визначити планове та висотне положення. Сьогодні точність встановлення місцеположення в режимі статички сучасними приймачами, за сприятливих умов, становить для планового положення 2 мм, а для висотного – 3 мм. Ці значення наведено за мінімальною відстані між базовим та роверним приймачами. Для обчислень використаємо збільшення похибок у разі віддалення з розрахунку 0,1 мм/км для планового положення та 0,4 мм/км для висотного.

З такого розрахунку можна оцінити точність визначення планового m_S і висотного m_h положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової. Однак, щоб знайти величини зміщень, нам потрібна різниця між визначеними приростами координат з двох циклів. Тому, за умови рівноточних вимірювань, похибки визначення планових $m_{\Delta S}$ і висотних $m_{\Delta h}$ зміщень становитимуть:

$$m_{\Delta S} = m_S \sqrt{2}, \quad (1)$$

$$m_{\Delta h} = m_h \sqrt{2}. \quad (2)$$

Для того щоб встановити ймовірність визначення просторових рухів залежно від їхньої швидкості, довжин ходів та частоти спостережень, використаємо таку формулу [11, 16]:

$$\left(\frac{m_v}{v}\right)^2 = \left(\frac{m_{\Delta\bar{S}}}{\Delta\bar{S}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2, \quad (3)$$

де m_v , $m_{\Delta\bar{S}}$ та $m_{\Delta t}$ – похибки визначення швидкості, вимірювань та тривалості вимірювань, відповідно; v , $\Delta\bar{S}$ та Δt – швидкість просторових рухів, величина зміщень та відрізок часу між повторними вимірами, відповідно.

Як видно з формули (3), якби на визначення швидкості не діяли похибки $m_{\Delta\bar{S}}$ та $m_{\Delta t}$, то ймовірність її безпомилкового визначення дорівнювала б одиниці [16]. Припустивши, що швидкість горизонтальних рухів становить 5 мм, а похибка їх визначення 2 мм за частоти спостережень 1 рік, одержимо відносну похибку визначення зміщень $\frac{m_{\Delta\bar{S}}}{\Delta\bar{S}} = \frac{2}{5}$, тобто ймовірність визначення швидкості становить 0,6. Якщо цикли спостережень рознесені на два роки, за згаданих умов матимемо величину зміщень 10 мм і одержимо відносну похибку –

$\frac{m_{\Delta\bar{S}}}{\Delta\bar{S}} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}$, тобто ймовірність визначення швидкості становить 0,8. З цих міркувань обчислимо ймовірність визначення за допомогою СРНС (для довжин векторів від 1 до 20 км) горизонтальних та вертикальних рухів за швидкостей: 1 мм/рік, 3 мм/рік, 5 мм/рік, 10 мм/рік, 15 мм/рік, 20 мм/рік, 30 мм/рік та 50 мм/рік та проміжків часу між циклами спостережень 0,5, 1, 2, 3, 4 та 5 років (табл. 1).

Вважаючи задовільною ймовірність визначення просторових рухів на рівні принаймні 0,7, встановимо допустимі довжини ходів та періодичність спостережень залежно від швидкості зміщень. Як бачимо з табл. 1, за частоти циклів спостережень два рази на рік за допомогою сучасних GNSS-приймачів можна визначити лише горизонтальні зміщення зі швидкістю 50 мм/рік на відстанях до 20 км, 30 мм/рік – 12 км та 20 мм/рік – 1 км. Визначити вертикальні рухи можна за швидкості 50 мм/рік на відстанях до 6 км. У інших випадках недоцільно виконувати два цикли спостережень на рік.

Виконуючи один цикл спостережень на рік, можливо визначити планові зміщення зі швидкістю понад 20 мм/рік на відстані 20 км, 15 мм/рік – 12 км, 10 мм/рік – 1 км; вертикальні зміщення – 50 мм/рік при довжині векторів до 19 км, 30 мм/рік – 8 км, 20 мм/рік – 3 км.

Якщо проміжки часу між циклами спостережень – два роки, можна визначити горизонтальні рухи зі швидкістю понад 10 мм/рік на відстані 20 км, 5 мм/рік – 1 км; вертикальні рухи зі швидкістю понад 30 мм/рік на віддалях до 20 км, 20 мм/рік – 14 км, 15 мм/рік – 8 км, 10 мм/рік – 3 км.

За частоти циклів спостережень один раз на три роки можливо визначити планові зміщення зі швидкістю понад 10 мм/рік на відстані 20 км, 5 мм/рік – 12 км; вертикальні зміщення зі швидкістю понад 20 мм/рік – 20 км, 15 мм/рік – 16 км, 10 мм/рік – 8 км.

Виконуючи один цикл спостережень на чотири роки, можна визначити горизонтальні рухи зі швид-

кістю понад 5 мм/рік на відстані 20 км, 3 мм/рік – 5 км; вертикальні зміщення зі швидкістю понад 15 мм/рік – 20 км, 10 мм/рік – 14 км, 5 мм/рік – 3 км.

Якщо між циклами спостережень проміжки часу п'ять років, можна визначити горизонтальні рухи зі швидкістю понад 5 мм/рік при довжині векторів 20 км, 3 мм/рік – 12 км; вертикальні рухи зі швидкістю понад 15 мм/рік – 20 км, 10 мм/рік – 19 км, 5 мм/рік – 6 км.

Як бачимо, використання супутникових технологій ефективно за значних швидкостей зміщень, коли зменшуються вимоги до точності визначення. Якщо невеликі швидкості зміщень, потрібно розносити цикли спостережень на більші відрізки часу.

Очевидно, що мінімальною похибка у визначенні місцеположення буде, якщо базовий приймач розташований безпосередньо в районі вимірювань. Найефективнішою при цьому є організація перманентних станцій на досліджуваній території, що дає певні переваги, зокрема неперервний контроль положення станції, високу точність визначення її просторових координат, однозначність положення приймача над центром знака для всіх циклів вимірювань, мінімізацію похибок, залежних від довжини векторів, тощо. В оптимальному випадку на досліджуваній території бажано розташувати стабільну перманентну станцію, відносно якої будуть визначатися зміщення, та перманентні станції у точках активного прояву деформаційних процесів, щоб отримати інформацію про стан території в реальному часі. Як приклади успішної реалізації такого підходу можна навести закордонний досвід, описаний у працях [17, 18].

Зокрема, у праці [17] висвітлено досвід використання GPS для моніторингу осідання території нафтового родовища біля Лонг-Біч (США). Традиційні методи геометричного нівелювання повністю замінені на збирання інформації у режимі реального часу за допомогою GPS. Мережа об'єднує 12 перманентних станцій у місті та районі порту і близько 200 реперів, на яких виконуються періодичні GPS-вимірювання (двічі на рік). Це дало змогу вдвічі скоротити затрати часу на виконання періодичних спостережень.

У публікації [18] наведено приклад використання технології GPS для моніторингу стану підвісних мостів Цинг Ма (Tsing Ma), Тінг Кау (Ting Kau) та Кап Шуї Мун (Kap Shui Mun) в Гонконзі. Мережа GPS складається з двох базових станцій та 27 приймачів, жорстко встановлених на різноманітних точках конструкцій мостів.

Якщо перманентна станція розташована безпосередньо на території спостережень, можемо вважати, що похибки планового та висотного положення дорівнюють 2 та 3 мм відповідно. Тоді похибки визначення планових і висотних зміщень становитимуть відповідно 2,8 та 4,2 мм. За таких умов забезпечується визначення планових зміщень за частоти спостережень двічі на рік – зі швидкістю понад 19 мм/рік, 1 раз на рік – 10 мм/рік, 1 раз на 2 роки – 5 мм/рік, 1 раз на 3 роки – 3 мм/рік, 1 раз на 4 роки – 2,5 мм/рік та 1 раз на 5 років – 2 мм/рік. Визначення вертикальних зміщень забезпечується з ймовірністю 0,7 при частоті спостережень 2 рази на рік для рухів зі швидкістю понад 28 мм/рік, 1 раз на рік – 14 мм/рік, 1 раз на 2 роки – 7 мм/рік, 1 раз на 3 роки – 5 мм/рік, 1 раз на 4 роки – 4 мм/рік та 1 раз на 5 років – 3 мм/рік.

Таблиця 1

Значення ймовірностей визначення горизонтальних та вертикальних рухів залежно від їхньої швидкості, довжин векторів та частоти спостережень з використанням сучасних GNSS-приймачів

Проміжок часу між циклами, роки	Довжина вектора, км	Похибка визначення, мм	Горизонтальні зміщення							Похибка визначення, мм	Вертикальні зміщення								
			Швидкість зміщень, мм/рік								Швидкість зміщень, мм/рік								
			1	3	5	10	15	20	30		50	1	3	5	10	15	20	30	50
0.5	1	3.0				0.41	0.60	0.70	0.80	0.88	4.8				0.36	0.52	0.68	0.81	
	3	3.3				0.35	0.57	0.67	0.78	0.87	5.9				0.21	0.41	0.60	0.76	
	5	3.5				0.29	0.53	0.65	0.76	0.86	7.1					0.29	0.53	0.72	
	10	4.2				0.15	0.43	0.58	0.72	0.83	9.9						0.34	0.60	
	15	4.9					0.34	0.51	0.67	0.80	12.7						0.15	0.49	
	20	5.7					0.25	0.43	0.62	0.77	15.6							0.38	
1	1	3.0			0.41	0.70	0.80	0.85	0.90	0.94	4.8			0.52	0.68	0.76	0.84	0.90	
	3	3.3			0.35	0.67	0.78	0.84	0.89	0.93	5.9			0.41	0.60	0.70	0.80	0.88	
	5	3.5			0.29	0.65	0.76	0.82	0.88	0.93	7.1			0.29	0.53	0.65	0.76	0.86	
	10	4.2			0.15	0.58	0.72	0.79	0.86	0.92	9.9				0.34	0.51	0.67	0.80	
	15	4.9				0.51	0.67	0.75	0.84	0.90	12.7				0.15	0.36	0.58	0.75	
	20	5.7				0.43	0.62	0.72	0.81	0.89	15.6					0.22	0.48	0.69	
2	1	3.0		0.51	0.70	0.85	0.90	0.93	0.95	0.97	4.8		0.20	0.52	0.76	0.84	0.88	0.92	0.95
	3	3.3		0.46	0.67	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	5.9			0.41	0.70	0.80	0.85	0.90	0.94
	5	3.5		0.41	0.65	0.82	0.88	0.91	0.94	0.96	7.1			0.29	0.65	0.76	0.82	0.88	0.93
	10	4.2		0.29	0.58	0.79	0.86	0.89	0.93	0.96	9.9				0.51	0.67	0.75	0.84	0.90
	15	4.9		0.18	0.51	0.75	0.84	0.88	0.92	0.95	12.7				0.36	0.58	0.68	0.79	0.87
	20	5.7			0.43	0.72	0.81	0.86	0.91	0.94	15.6				0.22	0.48	0.61	0.74	0.84
3	1	3.0		0.67	0.80	0.90	0.93	0.95	0.97	0.98	4.8		0.47	0.68	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97
	3	3.3		0.64	0.78	0.89	0.93	0.95	0.96	0.98	5.9		0.34	0.60	0.80	0.87	0.90	0.93	0.96
	5	3.5		0.61	0.76	0.88	0.92	0.94	0.96	0.98	7.1		0.21	0.53	0.76	0.84	0.88	0.92	0.95
	10	4.2		0.53	0.72	0.86	0.91	0.93	0.95	0.97	9.9			0.34	0.67	0.78	0.84	0.89	0.93
	15	4.9		0.45	0.67	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	12.7			0.15	0.58	0.72	0.79	0.86	0.92
	20	5.7		0.37	0.62	0.81	0.87	0.91	0.94	0.96	15.6				0.48	0.65	0.74	0.83	0.90
4	1	3.0	0.26	0.75	0.85	0.93	0.95	0.96	0.98	0.99	4.8		0.60	0.76	0.88	0.92	0.94	0.96	0.98
	3	3.3	0.19	0.73	0.84	0.92	0.95	0.96	0.97	0.98	5.9		0.51	0.70	0.85	0.90	0.93	0.95	0.97
	5	3.5	0.12	0.71	0.82	0.91	0.94	0.96	0.97	0.98	7.1		0.41	0.65	0.82	0.88	0.91	0.94	0.96
	10	4.2		0.65	0.79	0.89	0.93	0.95	0.96	0.98	9.9		0.18	0.51	0.75	0.84	0.88	0.92	0.95
	15	4.9		0.59	0.75	0.88	0.92	0.94	0.96	0.98	12.7			0.36	0.68	0.79	0.84	0.89	0.94
	20	5.7		0.53	0.72	0.86	0.91	0.93	0.95	0.97	15.6			0.22	0.61	0.74	0.81	0.87	0.92
5	1	3.0	0.41	0.80	0.88	0.94	0.96	0.97	0.98	0.99	4.8		0.68	0.81	0.90	0.94	0.95	0.97	0.98
	3	3.3	0.35	0.78	0.87	0.93	0.96	0.97	0.98	0.99	5.9		0.60	0.76	0.88	0.92	0.94	0.96	0.98
	5	3.5	0.29	0.76	0.86	0.93	0.95	0.96	0.98	0.99	7.1		0.53	0.72	0.86	0.91	0.93	0.95	0.97
	10	4.2	0.15	0.72	0.83	0.92	0.94	0.96	0.97	0.98	9.9		0.34	0.60	0.80	0.87	0.90	0.93	0.96
	15	4.9		0.67	0.80	0.90	0.93	0.95	0.97	0.98	12.7		0.15	0.49	0.75	0.83	0.87	0.92	0.95
	20	5.7		0.62	0.77	0.89	0.92	0.94	0.96	0.98	15.6			0.38	0.69	0.79	0.84	0.90	0.94

Теоретичні та експериментальні дослідження [4, 7, 8, 15] доводять, що встановити планове положення точок можна з міліметровою точністю, що забезпечує визначення горизонтальних зміщень земної поверхні на рівні $m_{\Delta S} = 2$ мм. За такої точності супутникових спостережень з ймовірністю 0.7 забезпечується визначення планових зміщень при частоті спостережень 2 рази на рік – зі швидкістю 13 мм/рік, 1 раз на рік – 7 мм/рік, 1 раз на 2 роки – 3,5 мм/рік, 1 раз на 3 роки – 2 мм/рік, 1 раз на 4 роки – 1,5 мм/рік.

Обчислення, наведені в табл. 1, виконано без врахування неодноразовості вимірювань. Але, як видно з формули (3), визначення швидкості залежить не тільки від точності геодезичних вимірювань, але й від їх неодноразовості, тобто зсуву циклу відносно запланованого терміну проведення. Приймаючи, що змен-

шенням ймовірності до 5 % можна нехтувати, знайдемо максимальну тривалість циклів спостережень за наведених вище умов (табл. 2). Позначення “-” означає, що вимірювання за таких умов виконувати нецільно, тобто ймовірність визначення менша за 0,7.

Якщо швидкості руху значні, важливо дотримуватись періодичності спостережень, тоді як за невеликих швидкостей руху та значних інтервалів спостережень основна похибка у визначенні швидкості виникає за рахунок похибки вимірювань, що зменшує вплив неодноразовості спостережень.

Як показав аналіз, СРНС можна використовувати для геодезичного моніторингу на техногенно навантажених територіях, де зафіксовано значні величини зміщень. Зокрема, до них можна віднести зсувонебезпечні ділянки у Закарпатті та Прикарпатті, на Південному березі Криму, узбережжі Чорного моря, правобережжі

Таблиця 2

Можлива неодноразовість циклів спостережень з використанням сучасних GNSS-приймачів залежно від швидкості просторових рухів, довжин векторів та частоти спостережень, дні

Проміжок часу між циклами, роки	Довжина вектора, км	Горизонтальні зміщення										Вертикальні зміщення											
		Похибка визначення, мм	Швидкість зміщень, мм/рік										Похибка визначення, мм	Швидкість зміщень, мм/рік									
			1	3	5	10	15	20	30	50	1	3		5	10	15	20	30	50				
0.5	1	3.0	-	-	-	-	-	-	32	27	22	4.8	-	-	-	-	-	-	-	27			
	3	3.3	-	-	-	-	-	-	-	28	23	5.9	-	-	-	-	-	-	-	30			
	5	3.5	-	-	-	-	-	-	-	29	24	7.1	-	-	-	-	-	-	-	32			
	10	4.2	-	-	-	-	-	-	-	32	26	9.9	-	-	-	-	-	-	-	-			
	15	4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	27	12.7	-	-	-	-	-	-	-	-			
	20	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	29	15.6	-	-	-	-	-	-	-	-			
1	1	3.0	-	-	-	65	55	48	41	33	4.8	-	-	-	-	-	59	50	40				
	3	3.3	-	-	-	57	50	42	35	28	5.9	-	-	-	-	-	66	55	44				
	5	3.5	-	-	-	59	52	43	36	29	7.1	-	-	-	-	-	59	47	37				
	10	4.2	-	-	-	64	56	47	38	30	9.9	-	-	-	-	-	-	-	54				
	15	4.9	-	-	-	60	50	40	32	26	12.7	-	-	-	-	-	-	-	61				
	20	5.7	-	-	-	64	53	43	34	27	15.6	-	-	-	-	-	-	-	-				
2	1	3.0	-	-	131	96	81	73	63	54	4.8	-	-	-	119	99	88	75	62				
	3	3.3	-	-	100	84	75	65	55	46	5.9	-	-	-	131	109	96	81	67				
	5	3.5	-	-	104	87	78	67	57	48	7.1	-	-	-	118	104	87	71	58				
	10	4.2	-	-	112	94	84	71	60	50	9.9	-	-	-	-	-	120	101	81				
	15	4.9	-	-	120	101	89	76	63	52	12.7	-	-	-	-	-	-	-	112	90			
	20	5.7	-	-	128	107	94	80	66	54	15.6	-	-	-	-	-	-	-	123	98			
3	1	3.0	-	-	163	122	105	95	83	73	4.8	-	-	-	149	125	112	97	83				
	3	3.3	-	-	170	126	108	97	86	75	5.9	-	-	-	163	137	122	104	88				
	5	3.5	-	-	176	131	112	100	88	76	7.1	-	-	-	176	148	131	111	93				
	10	4.2	-	-	192	141	119	107	93	80	9.9	-	-	-	-	171	150	127	104				
	15	4.9	-	-	151	127	113	98	83	72	12.7	-	-	-	-	192	169	141	115				
	20	5.7	-	-	160	135	119	102	87	74	15.6	-	-	-	-	-	184	154	124				
4	1	3.0	-	240	192	145	126	115	103	92	4.8	-	-	237	175	149	134	116	102				
	3	3.3	-	250	199	150	130	118	105	94	5.9	-	-	261	192	162	145	126	108				
	5	3.5	-	260	207	155	134	122	107	96	7.1	-	-	207	174	155	133	113					
	10	4.2	-	224	167	142	129	113	99	89	9.9	-	-	240	201	178	151	126					
	15	4.9	-	240	178	151	136	119	103	92	12.7	-	-	-	224	198	167	137					
	20	5.7	-	255	188	159	142	124	106	93	15.6	-	-	-	245	216	181	148					
5	1	3.0	-	272	218	167	146	134	122	110	4.8	-	-	268	200	172	156	137	121				
	3	3.3	-	283	226	173	150	138	124	112	5.9	-	-	295	218	186	167	146	127				
	5	3.5	-	294	235	178	154	141	127	114	7.1	-	-	319	235	199	178	155	133				
	10	4.2	-	319	254	191	164	149	133	118	9.9	-	-	-	272	228	202	173	146				
	15	4.9	-	272	202	173	157	138	122	110	12.7	-	-	-	304	254	225	191	158				
	20	5.7	-	288	214	182	164	144	125	111	15.6	-	-	-	-	277	244	206	170				

Дніпра; території, підроблені шахтними виробками; лесові ґрунти у Причорномор'ї та Придністров'ї тощо.

За даними 2009 р. найбільша кількість активних зсувів на території України зареєстрована у Донецькій, Запорізькій, Івано-Франківській, Миколаївській, Одеській, Черкаській та Чернівецькій областях. Активна господарська діяльність без вживання належних інженерно-захисних заходів викликала поширення зсувів на території майже 200 населених пунктів. Особливо тривожить те, що за останні 25–30 років площа прояву зсувних процесів зросла у 2–5 разів [6].

Загальна площа лесових ґрунтів у межах України становить понад 360 тис. км², з яких понад 60 тис. км² – лесові ґрунти з II типом умов за просіданням, понад 100 тис. км² – лесові ґрунти з I типом умов за просіданням, решта – ті, що не просідають. Максимальні

значення просідання лесових ґрунтів зафіксовано в м. Запоріжжі та м. Марганці (1,4–2,2 м) та м. Дніпропетровську (0,74 м) [6, 10].

Значне осідання поверхні спостерігається над гірничими виробками шахт у місцях розроблення корисних копалин. Так, у Донецькому вугільному басейні під забудованими територіями одночасно розробляється від 1 до 30 пластів вугілля. Просідання земної поверхні, пов'язані з діяльністю вугледобувних підприємств, зафіксовано на площі понад 8000 км². Величини осідань становлять 0,2–1,2 м, а в деяких місцях досягають 5 м [6].

Висновки

У роботі виконано розрахунок ймовірності визначення горизонтальних і вертикальних рухів та частоти проведення циклів спостережень з використанням сучас-

них GNSS-приймачів. Обґрунтовано необхідність організації перманентних станцій на досліджуваних територіях для підвищення якості результатів.

Наведені обчислення мають ілюстративний характер, тому що на точність супутникових спостережень впливає багато факторів, які доводиться враховувати під час спостережень у конкретних умовах. Однак обчислення дають уявлення про умови, за яких можливе визначення просторових рухів з використанням сучасних GNSS-приймачів, і ті, коли доцільно застосовувати традиційні методи вимірювань.

Література

1. Баран П. Досвід інженерно-геодезичних спостережень за зсувами території міського житлового масиву з висотними будинками / П. Баран, В. Сушко, В. Чорнокінь // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2000. – С. 132–139.
2. Баран П.І. Перший досвід і проблеми використання GPS-методу в інженерно-геодезичній практиці / П.І. Баран, А.Л. Бондар, П.О. Романишин, В.Г. Сушко, М.Д. Черемшинський, В.Я. Чорнокінь // Вісник геодезії та картографії. – 1998. – № 2. – С. 29–36.
3. Геніке А.А. Исследование деформационных процессов Загорской ГАЭС спутниковыми методами / А.А. Геніке, В.Н. Черненко // Геодезия и картография. – 2003. – № 2. – С. 27–33.
4. Геніке А.А. Комплексные исследования на локальных геодезических полигонах / А.А. Геніке, В.Н. Черненко // Геопрофи. – 2003. – № 2. – С. 11–15.
5. Геніке А.А. Особенности реализации метода метрологического контроля спутниковых координатных определений / А.А. Геніке, Л.М. Бланк // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 14–18.
6. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП. – Київ, 2010. – Вип. 7. – 90 с.
7. Клепфер Є. Питання точності визначення відносного місцеположення на основі GPS-технологій / Є. Клепфер, В. Іванов, В. Антонюк, В. Корольов, С. Воронков, С. Савчук, І. Тревого, В. Макаревич // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2005. – С. 80–87.
8. Клепфер Є. Розробка методики визначення відносного місцеположення з міліметровою точністю з використанням GPS-технології / Є. Клепфер, В. Іванов, В. Антонюк, В. Корольов, Б. Оліярник, С. Савчук, І. Тревого, В. Макаревич // Зб. мат. VIII Міжнар. наук.-техн. симпозіуму “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології”. – Львів, 2003. – 5 с.
9. Костецька Я.М. Точність деяких методів спостережень приймачами GPS / Я.М. Костецька, Ю.С. Луцишин, М.І. Марецький, М.С. Сигляк, С.Г. Хропот // Геодезичний моніторинг, геодинаміка і рефрактометрія на межі XXI століття. – 1998. – С. 13–18.
10. Котлов Ф.В. Антропогенные геологические процессы и явления на территории города / Ф.В. Котлов. – М.: Наука, 1977. – 171 с.
11. Островський А.Л. Деякі питання створення геодинамічних техногенних полігонів і наукових досліджень на них / А.Л. Островський, П.О. Романишин, П.П. Шпаківський // Вісник геодезії та картографії. – 1996. – № 1. – С. 16–24.
12. Островський А.Л. Нові сучасні можливості геодинаміки / А.Л. Островський, О.І. Мороз, П.Г. Черняга // Геодинаміка. – 1998. – № 1. – С. 25–29.
13. Савчук С.Г. Деякі питання геодезичного забезпечення кадастрових робіт / С.Г. Савчук, А.В. Заземленюк // Зб. наук. праць IV міжнар. наук.-прак. конф. “Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід”. – Чернівці: ЧДІЕУ. – 2008. – С. 58–61.
14. Савчук С. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS Internet з’єднання / С. Савчук, А. Заземленюк, А. Піскорівський // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2009. – № 1(17). – С. 58–69.
15. Тревого І. Точність і ефективність вимірювання взірцевих базисів в сучасних умовах із застосуванням GPS / І. Тревого, Я. Костецька // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2000. – С. 169–174.
16. Черняга П.Г. Розрахунок оптимальних частот та тривалості циклів повторних вимірювань на ГДП АЕС / П.Г. Черняга // Інженерна геодезія: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 1998. – Вип. 40. – С. 215–219.
17. Remondi B. Staying Afloat. GPS Monitors Oilfield Subsidence / B. Remondi, C. Henderson, D. Rutledge, R. Koerner // GPS World. – 2002. – Vol. 13, № 10. – P. 12–18.
18. Wong K. Monitoring Hong Kong’s bridges: Real-Time Kinematic spans the gap / K. Wong, K. Man, W. Chan // GPS World. – 2001. – Vol. 12, № 7. – P. 10–18.

Можливість визначення просторових рухів на техногенно навантажених територіях за допомогою СРНС

Г. Ішутіна, С. Бегічев, О. Янчук, П. Черняга

Проаналізовано можливість визначення горизонтальних і вертикальних рухів з використанням сучасних GNSS-приймачів. Розглянуто можливу періодичність та тривалість циклів спостережень.

Возможность определения пространственных движений на техногенно нагруженных территориях с помощью СРНС

А. Ишутина, С. Бегичев, А. Янчук, П. Черняга

Проанализирована возможность определения горизонтальных и вертикальных движений с использованием современных GNSS-приемников. Рассмотрена возможная периодичность и длительность циклов наблюдений.

Possibility of spatial displacement determination on technogenic-loaded territories by SRNS

A. Ishutina, S. Begichev, A. Yanchuk, P. Chernyaga

Possibility of horizontal and vertical displacement determination is analysed with the use of modern GNSS-receivers. Possible periodicity and duration of observation cycles is considered.