

УДК 528.481/.482

ЛОКАЛЬНІ ВЕРТИКАЛЬНІ РУХИ ПЕРМАНЕНТНОЇ GPS-СТАНЦІЇ У ПОЛТАВІ

В. Павлик, А. Кутний, Т. Бабич

Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

Ключові слова: перманентна GPS-станція, гідротермічні вертикальні рухи.

Постановка проблеми

Перманентні GPS-станції розташовують переважно на будівлях та спорудах. Завдяки цьому забезпечується відсутність перешкод під час поширення сигналів від супутників та вдається уникнути їх багатошляховості внаслідок додаткового відбиття від навколишніх об'єктів.

Але самі будівлі не є нерухомими в часі. Їх фундаменти постійно рухаються під дією гідротермічних переміщень. Ці переміщення зумовлені варіаціями вологи і температури верхніх шарів ґрунту й істотно залежать від його фізичних властивостей. Надземна частина будівель перебуває у змінному температурному полі, що викликає їх періодичні деформації. Названі вище чинники спричиняють сезонні й навіть повільні рухи споруд. За певних обставин локальні рухи здатні не лише погіршити точність визначення постійнодіючих GPS-станцій, а й вносити систематичні похибки при визначенні швидкостей їх змін. Гідротермічні рухи земної поверхні більшою мірою позначаються на вертикальній складовій динаміки земної поверхні, ніж на горизонтальній.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Перманентна GPS-станція “Полтава” (ідентифікатор POLV) організована у 2001 р. на території Полтавської гравіметричної обсерваторії Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. У цьому ж році розпочато регулярні спостереження і станція увійшла до мереж IGS та EPN. Приймальна антена встановлена на спеціально збудованому постаменті, який міститься на капітальній стіні лабораторного корпусу обсерваторії. Будівля збудована майже 100 років тому; висота антени над поверхнею землі 10,6 м.

Спроб визначення характеристик локальних рухів GPS-станції внаслідок варіації гідрометеорологічних чинників упродовж усього часу спостережень не здійснювалось. Завдяки тому, що станція розміщена на геодинамічному мікрополігоні “Полтава”, де з 1987 р. визначається динаміка верхніх шарів земної поверхні [1–3], виникла можливість дослідження вертикальних переміщень GPS-станції внаслідок дії гідротермічних факторів.

Постановка завдання

Метою роботи є встановлення величини локальних вертикальних переміщень перманентної GPS-станції у Полтаві в результаті варіації навколишніх гідротермічних чинників.

Виклад основного матеріалу проблеми

Для визначення вертикальних переміщень GPS-станції на краю західної та східної сторін будівлі обсерваторії закладено дві марки. Вони являють собою короткі лінійки з нержавіючої сталі з нанесеними поділками через 5 мм. Висота над поверхнею землі західної марки М1 – 2,2 м, східної М2 – 2,9 м. Відстань між ними близько 20 м.

На відстані 75 м від GPS-станції розміщений репер А1 глибиною 6 м, який є одним із найстійкіших нівелірних знаків на полігоні. Це репер свердловинного типу з обсадною трубою, яка запобігає впливу на його стійкість найрухомішого верхнього шару ґрунту. Повільні рухи репера А1 не перевищують перших сотих часток міліметра на рік упродовж майже 25 років спостережень [3]. Сезонні квазіперіодичні коливання цього знака відносно інших стійких реперів не перевищують десятих часток міліметра [2]. Саме тому репер А1 вибрано за вихідний для визначення вертикальних часових переміщень будівлі, на якій розміщено GPS-станцію “Полтава”. Незначна відстань між цим репером та закладеними марками дає змогу з однієї станції нівелювання отримувати рухи будівлі на висоті візирного променя нівеліра.

За період часу з 14.01.2004 р. до 12.12.2005 р. виконано 64 цикли геометричного нівелювання між репером А1 і марками М1 і М2. Середньоквадратична помилка одного спостереження не перевищує 0,1 мм. Точність нанесення поділок на лінійки марок не важлива, оскільки за весь період спостережень використувався лише один штрих кожної з марок.

На рис. 1 наведено графіки вертикальних переміщень нівелірних марок відносно репера А1.

Варто відзначити високу кореляцію у рухах обох марок. Чітко виявляється сезонний характер та практично відсутні повільні зміни у вертикальному переміщенні будівлі. Це підтверджує табл. 1, де наведено параметри річної та повільної складової вертикальних рухів марок М1 і М2, визначених за методом найменших квадратів.

В останньому стовпчику поданої вище таблиці наведено моменти максимального підняття нівелірних марок у місяцях календарного року. Максимум періодичного підняття марки М1 відзначено у середині червня, а марки М2 – у середині квітня. Відповідно максимальні опускання марок зміщені на 6 місяців відносно екстремумів їх підняття.

Вертикальні рухи будівлі обсерваторії можуть відбуватись під дією двох основних чинників. По-перше, це переміщення фундаменту будівлі внаслідок дії гідротермічних факторів. Ця причина може обумовити як постійний тренд, так і періодичні рухи фундаменту. По-друге, періодичні вертикальні коливання надземної частини будівлі під дією змін навколишньої температури.

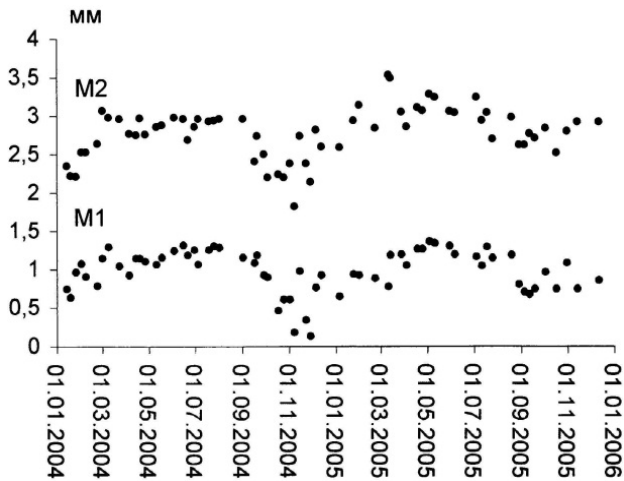


Рис. 1. Вертикальні рухи марок M1 і M2, закладені в стіні будівлі, на якій міститься GPS-станція "Полтава"

Таблиця 1

Параметри повільного тренду та річної складової вертикальних рухів марок M1 і M2

Назва марки	Повільний тренд, мм за рік	Річна складова руху	
		Амплітуда, мм	Момент максимального підняття, місяці календарного року
M1	0,06±0,04	0,26±0,03	6,5±0,5
M2	0,11±0,05	0,28±0,04	4,6±0,6

Рухи фундаменту будівлі можна спробувати відтворити за допомогою вертикальних переміщень репера A15 геодинамічного мікрополігона у Полтаві. Глибина закладання цього знака становить 1,5 м і якнайкраще узгоджується з глибиною фундаменту. Репер A15 такої самої конструкції, як A1, і розміщений від нього на відстані всього 5 м. Визначення рухів цього знака в період нівелювання марок M1 і M2 здійснювалось з тижневою періодичністю. Його повільні рухи відносно репера A1 за останні 23 роки спостережень не перевищують 0,01 мм за рік [3]. Переміщення надземної частини будівлі, на якій розташована GPS-станція, повинні корелювати зі змінами навколишньої температури повітря.

На рис. 2 показано коливання середнього значення вертикальних переміщень марок M1 і M2, яке відповідає середній висоті 2,55 м над поверхнею землі, а також рухи репера A15 та хід температури повітря у моменти спостережень за зміщеннями марок.

Запропонуємо лінійну модель вертикальних переміщень будівлі обсерваторії на середній висоті розміщення нівелірних марок:

$$y_i = a_0 + a_1 \Delta h_i + a_2 t_i, \quad (1)$$

де y_i – масив вимірних значень вертикальних переміщень будівлі за даними спостереження нівелірних марок; a_0, a_1, a_2 – невідомі коефіцієнти; Δh_i і t_i – відповідно масиви вертикальних рухів репера A15 та температури повітря на моменти спостережень величини y_i ; $i=1, \dots, 64$.

У табл. 2 наведено числові значення коефіцієнтів рівняння (1), отримані за методом найменших квадратів.

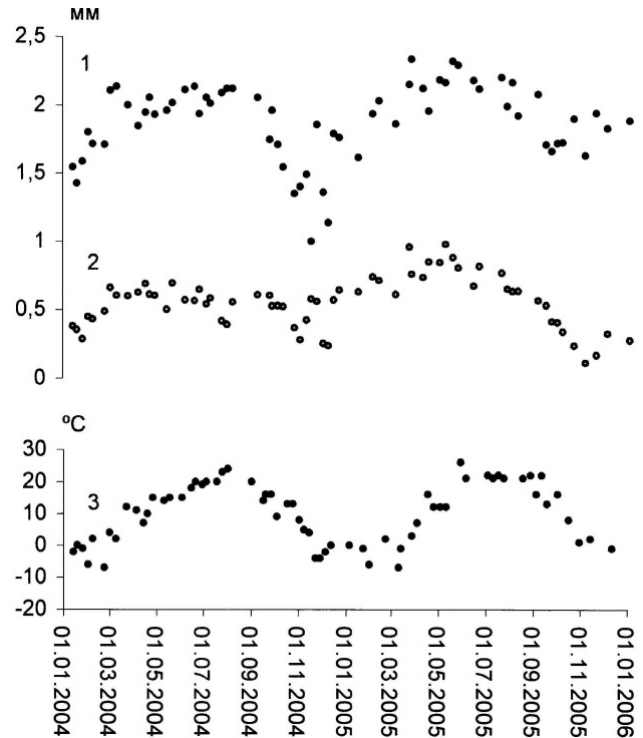


Рис. 2. 1 – середні значення вертикальних переміщень марок M1 і M2; 2 – вертикальні рухи шару ґрунту на глибині 1,5 м від поверхні за даними спостереження репера A15; 3 – температура повітря у моменти спостереження нівелірних марок

Таблиця 2

Результати визначення коефіцієнтів рівняння (1)

Коефіцієнт	Значення і середньоквадратична помилка
a_0	0,98±0,12
a_1	0,89±0,12
a_2	0,0070±0,0025

Модель, яка задана рівнянням (1), задовольняє умови критерію Фішера. Відношення дисперсії адекватності до дисперсії відтворюваності становить 55,2. Це значно більше від критичного значення критерію Фішера ($F = 4,95$) за рівня значущості 0,01. Усі отримані коефіцієнти також значущі.

Розмірність отриманого коефіцієнта a_1 – міліметри вертикальних переміщень фундаменту будівлі на 1 міліметр вертикальних рухів репера A15. Будівля обсерваторії розташована на середньосуглинистих за гранулометричним складом ґрунтах і вертикальні рухи його верхнього триметрового шару зумовлені переважно змінами вологи ґрунту [2]. Коефіцієнт a_1 містить також і температурну складову деформації фундаменту будівлі. Запізнення температурної хвилі на глибині 1,5 м від поверхні землі становить 1,5–2 місяці відносно температури повітря. Тому фази періодичних сезонних вертикальних рухів фундаменту внаслідок дії варіації вологи ґрунту та деформацій температурного походження майже однакові, що не дає змоги розділити вплив цих двох чинників.

Розмірність коефіцієнта a_2 – міліметри вертикальних рухів на середній висоті нівелірних марок будівлі (2,55 м над поверхнею землі) при зміні температури повітря на 1°C . Отримане числове значення a_2 дає змогу визначити фактичний коефіцієнт лінійного температурного розширення стіни будівлі, на якій закладено нівелірні марки. Він, як виявилось, дорівнює $2,7 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Табличне значення коефіцієнта лінійного температурного розширення для цегляної кладки $\alpha = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ [4]. Отримане нами значення впливу змін температури на вертикальні переміщення будівлі виявилось заниженим удвічі. Це можна пояснити тим, що внутрішня частина стіни, на відміну від зовнішньої, знаходиться всередині будівлі, де температурні коливання значно менші, ніж зовні. Тому отримане нами фактичне значення коефіцієнта α має бути меншим за його табличний аналог, що ми й одержали.

Розрахуємо можливі вертикальні переміщення гідротермічного походження GPS-станції. Її антена міститься на внутрішній капітальній стіні будівлі лабораторного корпусу обсерваторії. Ця стіна є перпендикулярною до стіни, на якій закріплено нівелірні марки M1 і M2. Величина температурних коливань перших 6,05 м цієї стіни з усіх сторін відповідає температурному режиму всередині приміщень обсерваторії. Останні 0,9 м стіни розміщена на горищі. Верх стіни є основою для збудованого цегляного постаменту висотою 3,65 м, на якому закріплено антену. Нижня частина постаменту розміщена на горищі (2,1 м), а верхня (1,55 м) виступає над дахом. Приймаємо, що температурний режим на горищі відповідає зовнішній температурі повітря.

Розрахунок можливих вертикальних коливань станції у Полтаві внаслідок варіації гідротермічних чинників виконаємо для GPS-тижнів з 1252 до 1355 включно, які відповідають 2004–2005 рр. (04.01.2004 – 31.12.2005 рр.).

Вертикальні гідротермічні рухи GPS-станції z_i можна задати такою формулою:

$$z_i = a_1 \Delta h_i + \alpha H_1 t_{6,i} + \alpha H_2 t_{3,i}, \quad (2)$$

де a_1 – отримане з рівняння (1) значення ($a_1 = 0,89$); Δh_i – інтерпольоване значення висотного положення репера A15 на середину GPS-тижня, які отримані зі спостережень на геодинамічному мікрополігоні; α – коефіцієнт лінійного температурного розширення цегляної кладки ($\alpha = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, правомірність використання його значення показано вище); H_1 – висота стіни, яка перебуває всередині будівлі ($H_1 = 6,05$ м); H_2 – частина стіни та постамент, які перебувають зовні будівлі ($H_2 = 4,55$ м); $t_{6,i}$ і $t_{3,i}$ відповідно масиви середніх значень температури повітря всередині та зовні будівлі для GPS-тижнів i ($i = 1252, \dots, 1355$).

Перший член рівняння (2) визначає рухи фундаменту будівлі, на якій міститься GPS-станція, внаслідок зміни насамперед вологи ґрунту, а наступні два члени задають вертикальні переміщення стіни та постаменту під дією коливань температури.

Зовнішню температуру повітря $t_{3,i}$ взято з архіву погоди на сайті Українського гідрометеорологічного центру, де вона наведена через кожні 3 години [5]. Ми прийняли, що початкові фази зовнішньої температури та температури всередині будівлі однакові. Мінімальне значення середньої температури GPS-тижня всередині будівлі дорівнює $10,0^\circ\text{C}$ (зовнішньої – $-10,3^\circ\text{C}$), максимальне – $26,0^\circ\text{C}$ (зовнішньої – $24,2^\circ\text{C}$).

На рис. 3 показано вертикальні рухи перманентної GPS-станції “Полтава” внаслідок дії гідротермічних чинників у 2004–2005 рр.

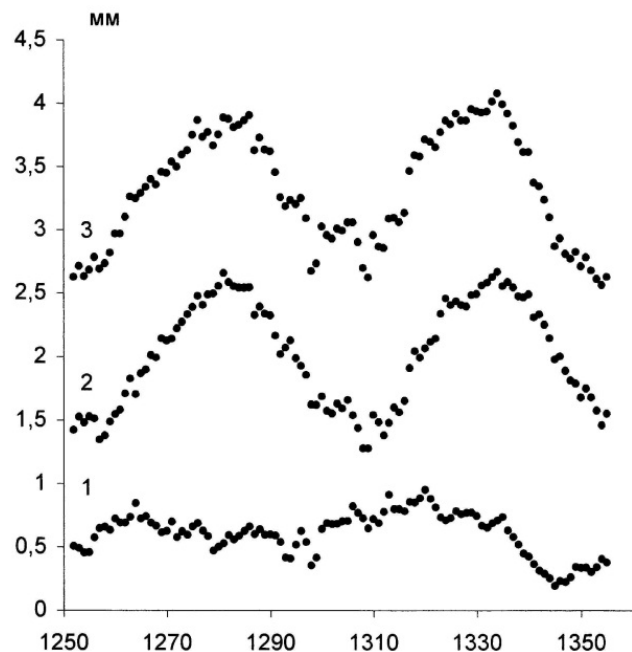


Рис. 3. Вертикальні гідротермічні рухи перманентної GPS-станції “Полтава” за 1252–1355 GPS-тижнів (2004–2005 рр.): 1– переміщення фундаменту будівлі; 2– переміщення наземної частини будівлі температурного походження; 3– вертикальні рухи GPS-станції (сумарна дія чинників 1 і 2)

Вертикальні переміщення будівлі обсерваторії, зумовлені її температурними деформаціями, удвічі переважають гідротермічні рухи фундаменту. Величина локальних вертикальних переміщень GPS-станції у Полтаві під дією зовнішніх гідрометеорологічних чинників на порядок менша за величину коливань координати висоти за даними GPS-спостережень (GPS-тижні 1252–1355) [6].

Висновки

Перманентна GPS-станція “Полтава” відзначається високою стійкістю свого висотного положення. Вертикальні гідротермічні коливання будівлі, на якій встановлено антену приймача, мають переважно сезонний характер і не перевищують 1,5 мм. Повільний лінійний вертикальний тренд відсутній. Зроблений висновок стосується спостережень 2004–2005 рр. Але немає жодних підстав вважати, що в інші роки спостережень характер локальних вертикальних рухів GPS-станції був суттєво іншим.

Література

1. Павлик В.Г. Дослідження сезонних гідротермічних деформацій земної поверхні на різних глибинах / В.Г. Павлик // Геод., картограф. та аерофотознімання. – Львів, 1999. – № 59. – С. 19–23.
2. Павлик В.Г. Сезонні гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні в умовах різних за гранулометричним складом ґрунтів / В.Г. Павлик // Геодинаміка. – 2010. – № 1(9). – С. 22–27.
3. Павлик В. Результати дослідження власних повільних вертикальних рухів реперів на геодинамічних мікрополігонах Полтавської гравіметричної обсерваторії / В. Павлик // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – Вип. 1(23). – С. 60–65.
4. Температурный коэффициент линейного расширения / <http://www.temperatures.ru>.
5. Погода в Україні. Архівні дані. Полтава / <http://www.meteo.gov.ua>.
6. Хо́да О.А. Определение координат украинских перманентных GPS-станций по данным наблюдений для GPS-недель 1236–1399 / О.А. Хо́да // Кинематика и физика небесных тел. – 2011. – Т. 27, № 1. – С. 25–39.

Локальні вертикальні рухи перманентної GPS-станції у Полтаві

В. Павлик, А. Кутний, Т. Баби́ч

Представлено результати дослідження локальних гідротермічних вертикальних переміщень перманентної GPS-станції у Полтаві у 2004–2005 рр.

Локальные вертикальные движения перманентной GPS-станции в Полтаве

В. Павлык, А. Кутный, Т. Бабыч

Представлены результаты исследования локальных гидротермических вертикальных движений перманентной GPS-станции в Полтаве в 2004–2005 гг.

Local vertical movements of permanent GPS-station in Poltava

V. Pavlyk, A. Kutnyj, T. Babych

Results of research of local hydrothermal vertical movements of permanent GPS-station in Poltava in 2004–2005 are presented.

ГЕОДЕЗИЯ. Частина перша. Топографія

Навчальний посібник.

А.Л. Островський, О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, І.Ф. Гарасимчук.

Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 440 с.

ISBN 978-617-607-081-8

- загальні відомості з топографії
- сучасні дані про форму та розміри Землі
- найпростіші прилади вимірювання на місцевості
- будова і перевірки технічних теодолітів
- основи тахеометричного, мензуального знімання

**ГЕОДЕЗИЯ**

Підручник.

Частина друга. За заг. ред. А. Л. Островського. Друге видання, виправлене.

Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 564 с.

ISBN 978-617-607-241-6

- теорія електронних приладів
- методи супутникової геодезії
- найсучасніші автоматизовані прилади

Для всіх геодезистів