

УДК 528.482

*Павлик В.Г., к.т.н., Кутний А.М., к.ф.-м.н, с.н.с.
Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України, vgpavlyk@gmail.com*

*Нестеренко С.В., к.т.н., доцент
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою,
кафедра автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель,
ORCID: [0000-0002-2288-3524](https://orcid.org/0000-0002-2288-3524), e-mail: NesterenkoS2208@gmail.com*

ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ РУХІВ ПЕРМАНЕНТНОЇ GPS – СТАНЦІЇ У ПОЛТАВІ

***Анотація.** Досліджено локальні сезонні та повільні рухи постаменту GPS-станції. Визначено, що вертикальні рухи переважають горизонтальні, так як деформації верхнього найрухомішого шару ґрунту відбуваються переважно у вертикальному напрямку. Обчислені сезонні коливання середнього вертикального положення нівелірних марок з вилученими деформаціями вихідного репера та ґрунту під його монолітом та можливий вертикальний рух фундаменту, на якому розміщена GPS-станція. Визначено середній сезонний вертикальний рух GPS-станції за періоди спостережень 2004 – 2005 рр. та 2018 – 2019 рр.*

***Ключові слова:** перманентні ГНСС-станції, сезонні вертикальні коливання, геометричне нівелювання, нівелірні марки, репер.*

UDC 528.482

*Pavlyk V.G., Ph.D., Kutnyi A.M., Ph.D., senior reseacher.
Poltava Gravimetric Observatory of Institute of Geophysics named after S.I. Subbotin of the
National Academy of Sciences of Ukraine, vgpavlyk@gmail.com*

*Nesterenko S.V., Ph.D., associate professor
National university «Yuri Kondratyuk Poltava polytechnic»,
educational and scientific institute of architecture, construction and land management,
department of roads, geodesy, land management and rural buildings,
ORCID: 0000-0002-2288-3524, e-mail: NesterenkoS2208@gmail.com*

DETERMINATION OF LOCAL VERTICAL MOVEMENTS OF THE PERMANENT GPS - STATION IN POLTAVA

***Abstract.** Local seasonal and slow movements of the pedestal of the GPS-station are investigated. It is determined the fact that vertical movements prevail over horizontal ones, as the deformations of the upper most mobile layer of soil occur mainly in the vertical direction. It has been calculated the seasonal fluctuations of the average vertical position of level marks with removed deformations of the original benchmark and soil under its monolith and the possible vertical movement of the foundation on which the GPS-station is located. The average seasonal vertical movement of the GPS-station for the periods of observations of years 2004 - 2005 and 2018 - 2019 is determined.*

***Key words:** permanent GNSS stations, seasonal vertical fluctuations, geometric leveling, leveling marks, benchmark.*

Українська мережа перманентних ГНСС-станцій створена з метою підвищення точності геодезичних вимірювань на території України та прив'язки координатної системи

до Міжнародної земної системи відліку. Загалом на території України створено трохи більше сотні станцій, з яких менше десяти входять в Європейську перманентну мережу GPS-станцій EPN та Міжнародну мережу IGS. Перманентна станція «Полтава» (ідентифікатор POLV) організована у 2001 р. на території Полтавської гравіметричної обсерваторії. Незабаром після початку регулярних спостережень станція POLV включена до мереж EPN та IGS. Приймальна антена встановлена на спеціально збудованому постаменті, який розташований на внутрішній капітальній стіні лабораторного корпусу обсерваторії. Будівля збудована більше 100 років тому; висота приймальної антени над поверхнею землі 10,6 м.

В результаті дії зовнішніх чинників гідротермічного походження постаменти GPS-станції можуть здійснювати локальні сезонні та повільні рухи. Вертикальна складова цих рухів значно переважає горизонтальну. Адже усі зовнішні навантаження на земну поверхню, а також деформації верхнього найрухомішого шару ґрунту відбуваються переважно у вертикальному напрямку. Лише біля 40% від фактичної величини річних вертикальних коливань, які отримані на основі неперервних GPS спостережень можна пояснити впливом таких відомих факторів як атмосферні та гідрологічні навантаження на земну поверхню, припливні ефекти та інші [1, 2]. Що стосується повільних рухів, то на основі GPS даних виявляється постійне збільшення радіусу Землі зі швидкістю 0,3-0,5 мм в рік, при чому швидкість підняття у північній півкулі більша, ніж у південній [3]. Приймальні антени GPS апаратури розташовують на спорудах, будівлях, спеціальних постаментах, фундаменти яких часто перебувають у зоні значних деформацій ґрунту під дією варіації гідротермічних чинників. Це може спотворити отримані результати моніторингу земної поверхні і поставити під сумнів достовірність їх інтерпретації. За даними спостережень на геодинамічному полігоні у Полтаві, який створений з метою дослідження впливу екзогенних чинників метеорологічного походження на динаміку земної поверхні, сезонні вертикальні рухи на поверхні землі внаслідок варіації вологи ґрунту сягають в середньому 10 мм, а власні повільні рухи реперів, які перебувають у зоні сезонного промерзання ґрунту, піднімаються зі швидкістю 0,5 мм в рік. Навіть деякі з реперів, основа яких знаходиться значно нижче зони сезонного промерзання ґрунту, здійснюють постійне підняття зі швидкістю більше ніж 0,5 мм в рік [4].

Розташування GPS-станції на території геодезичного полігону значно спрощує завдання визначення кількісних характеристик її вертикальної динаміки під дією локальних гідротермічних чинників. Адже неподалік розташовані реperi різної глибини з відомими показниками стійкості. На відстані 75 м від станції знаходиться репер А1 глибиною 6 м, який відзначається високою стійкістю впродовж усіх 30 років спостережень. В динаміці цього знаку відсутні повільні та сезонні рухи. Саме цей репер вибрано в якості вихідного при визначенні характеристик можливої вертикальної динаміки приймальної антени GPS-станції.

У 2004-2005 рр. виконано перші спостереження за локальними вертикальними рухами станції під дією варіації гідротермічних чинників. Для цього на краю західної та східної сторін будівлі обсерваторії було закладено дві марки з нержавіючої сталі з нанесеними поділками, вертикальне положення яких постійно контролювалось методом повторного геометричного нівелювання. На основі виконаних спостережень та моделювання отримано сезонну складову можливих вертикальних коливань приймальної антени, величина якої не перевищувала 2 мм [5]. На жаль, малий період спостережень не дозволив встановити наявності чи відсутності повільних вертикальних рухів GPS-станції під дією зовнішніх чинників. Тому, у 2018 р. продовжено спостереження за стійкістю станції з метою визначення швидкості її повільних локальних вертикальних рухів та підтвердження отриманих раніше сезонних коливань.

Нівелірні марки, які закладені у 2004 р. на будівлі обсерваторії і використовувались для визначення динаміки були недостатньо контрастними, що створювало певні труднощі під час спостережень. У 2018 р. на краях будівлі встановлену іншу пару марок, яка розташована приблизно на 1 м нижче за попередню. Відносна висота марок змінилась внаслідок зміни конфігурації висотної мережі. Зараз нівелювання нових марок здійснюється з двох станцій, а не з

однієї, як це здійснювалось у 2004-2005 рр. Збільшення кількості станцій нівелювання у 2018-2019 рр. не збільшило похибку визначення висотного положення марок, а навпаки її зменшило. Це відбулось завдяки значному зменшенню похибки наведення на контрастні штрихи нових марок порівняно зі старими.

На даний момент здійснено 16 циклів повторного нівелювання марок. Оскільки загальна кількість спостережень за два роки є порівняно незначною і вони виконувались несиметрично впродовж року, то для надійнішого визначення кількісних характеристик їх вертикальних рухів отримано їх середній рух за два роки виначень. На рис. 1 показано вертикальні рухи марок W і E, які відповідно розташовані на західній та східній стороні будівлі обсерваторії.

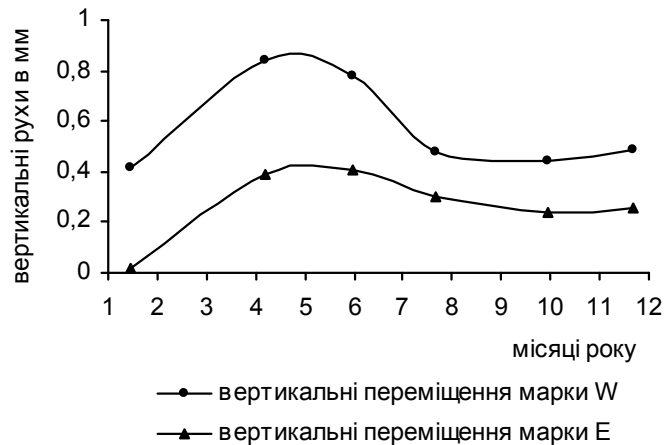


Рисунок 1. Середній сезонний вертикальний рух марок W і E за 2018 – 2019 рр. відносно репера A1.

На рис. 2 показано сезонні коливання середнього вертикального положення нівелірних марок з вилученими деформаціями вихідного репера та ґрунту під його монолітом та можливий вертикальний рух фундаменту, на якому розміщена GPS-станція.

Глибина фундаменту будівлі обсерваторії є невідомою, оскільки вона збудована більше сотні років назад. На геодезичному полігоні у Полтаві тривалий час визначаються сезонні вертикальні рухи шарів ґрунту в діапазоні від поверхні землі до глибини 2,5 м. Найкраще ймовірний вертикальний рух фундаменту будівлі з GPS приймачем описує шар ґрунту на глибині 0,9 – 1,2 м від поверхні. На рис. 3 зображено середній за 2018 – 2019 рр. сезонний хід цих двох величин.

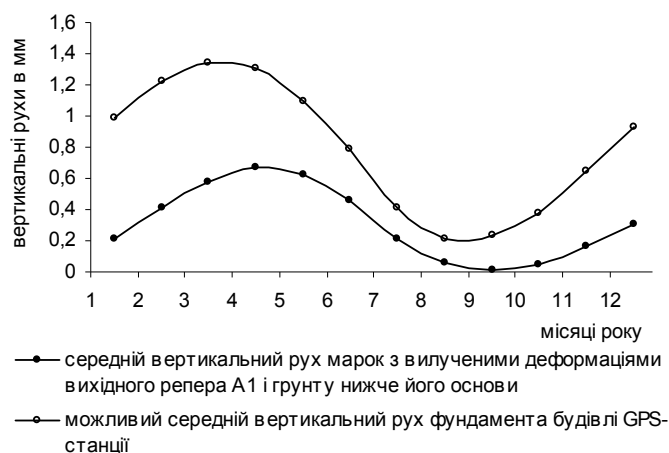


Рисунок 2. Середній сезонний вертикальний рух фундаменту будівлі GPS-станції за 2018 – 2019 рр.

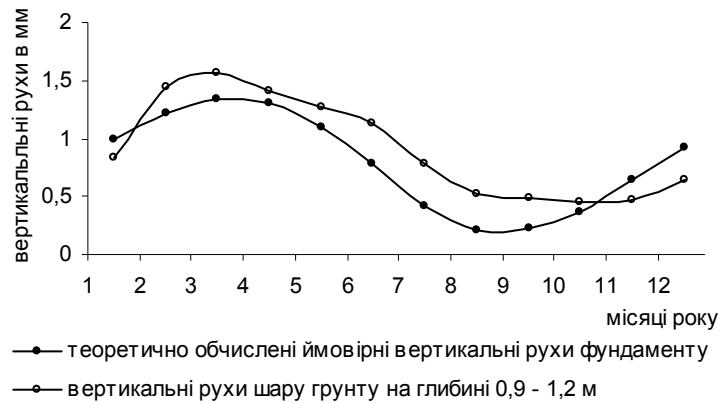


Рисунок 3. Середні сезонні вертикальні рухи фундаменту будівлі, де розташований GPS-приймач, та шару ґрунту на глибині 0,9 – 1,2 м від поверхні землі за 2018 – 2019 рр.

Хороша кореляція кривих на рис. 3 свідчить, на нашу думку, про адекватність прийнятої моделі вертикального руху будівлі GPS-станції.

На рис. 4 показано середній сезонний вертикальний рух GPS-станції за періоди спостережень 2004 – 2005 рр. та 2018 – 2019 рр.

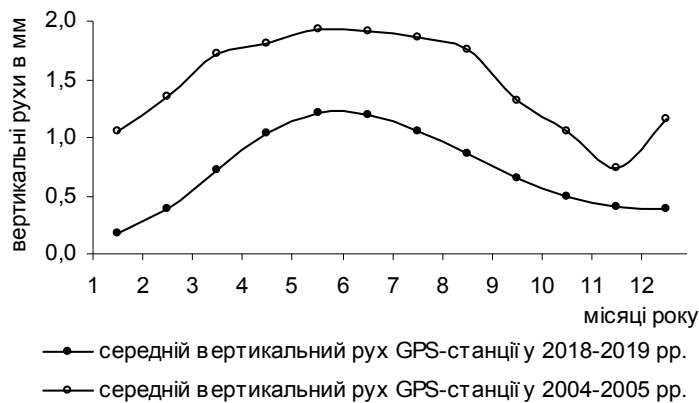


Рисунок 4. Сезонні вертикальні рухи перманентної GPS-станції POLV

Числові параметри річної складової вертикальних переміщень GPS-станції у Полтаві та їх середні квадратичні похибки (СКП), обчислені за допомогою методу найменших квадратів (МНК), наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Числові характеристики сезонних вертикальних рухів GPS-станції POLV внаслідок дії локальних чинників гідротермічного походження

Роки спостережень	Амплітуда та її СКП в мм		Момент максимального підняття та його скп у місяцях календарного року	
	Амплітуда	СКП	Момент	СКП
2004 – 2005 рр.	0,55	0,07	5,8	0,2
2018 – 2019 рр.	0,51	0,03	5,9	0,1

Згідно табл. 1 сезонні коливання антени GPS-станції приблизно 1 мм, а її максимальне підняття припадає на кінець травня. Слід відзначити незмінність числових характеристик сезонної складової вертикальних переміщень впродовж обох циклів спостережень.

Отже, перманентна GPS-станція POLV відзначається високою стійкістю у висотному відношенні до локальних деформацій верхнього шару ґрунту. Її сезонні коливання трохи більше 1 мм, а повільний тренд не перевищує 0,07 мм за рік. Найбільш чутливою до дії зовнішніх чинників гідрометеорологічного походження є вертикальна складова динаміки земної поверхні.

Тому, на наш погляд, слід започаткувати визначення локальних вертикальних рухів усіх перманентних GPS-станцій, які входять у мережі EPN і IGS. Це дозволить значно підвищити достовірність визначення висотної компоненти за результатами супутникових спостережень при вивченні тектонічних та техногенних деформацій глобального та регіонального масштабів.

Література

1. Dong D. *Anatomy of apparent seasonal variations from GPS-derived site position time series* / D. Dong, P. Fang, Y. Bock, M. K. Cheng, S. Miyazaki // *Journal Geophysical Research*. 2002. 107(B4). DOI: 10.1029/2001JB000573.
2. Lyon T. J. *On the use of repeat leveling for the determination of vertical land motion: artifacts, aliasing and extrapolation errors* / T. J. Lyon, M. S. Filmer, W. E. Feathersstone // *Journal Geophysical Research*. 2018. 123. P. 7021–7036. DOI: [10.1029/2018JB015705](https://doi.org/10.1029/2018JB015705).
3. Шило Є. О. *Моделювання трансформації фігури Землі і її впливу на геодинамічні процеси* / Є. О. Шило // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. спец. 05.24.01. – Львів, 2019. 21с.
4. Павлик В. Г. *Результати дослідження власних повільних вертикальних рухів реперів на геодинамічних мікрополігонах Полтавської гравіметричної обсерваторії* / В. Г. Павлик // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2012. вип. I (23). С. 60–65.
5. Павлик В. Г. *Локальні вертикальні рухи GPS-станції у Полтаві* / В. Г. Павлик, А. М. Кутний, Т. М. Бабич // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2013. вип. I (25). С. 51–54.