

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО ВІДБИТТЯ GPS-СИГНАЛІВ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ

©Глотов В.М., Третяк К.Р.

В статье предлагается оригинальное устройство для исследования GPS приемников в условиях расположения антенны около отражающих поверхностей. Приведен детальный анализ экспериментальных исследований. Подчеркивается возможность использования устройства для исследования GPS в кинематическом режиме. Делаются соответствующие выводы.

The original device for investigation of GPS receivers in the condition when antenna is located near reflecting surfaces is proposed in the article. The detailed analyses of experimental works are presented. The possibility of using the device for investigation of GPS in cinematic mode is underlined. Corresponding concludes are made.

Постановка проблеми. Виконання GPS-вимірювань у умовах розташування антени біля відбиваючих поверхонь (стіни будинків, огорожі, водні поверхні) приводить до додаткового відбиття від них сигналів, які приймаються антеною приймача і передаються в обробку вимірювань. Ці сигнали приводять до появи похибок у вимірюваннях і значною мірою можуть спотворювати остаточний результат. У настановах із проведення GPS для усунення додаткового відбиття сигналів рекомендують антенну приймача розташовувати у місцях із відсутніми відбиваючими поверхнями. Для фільтрування GPS-сигналів, відбитих від водних і підстилаючих поверхонь, нижню частину антени оснащують спеціальними кільцевими, які перешкоджають проходженням цих сигналів.

Однак на практиці часто виникає необхідність проводити GPS-вимірювання біля відбиваючих поверхонь (міські геодезичні мережі, то що). У зв'язку з цим необхідно володіти інформацією про спотворення результатів вимірювань і при можливості їх враховувати.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених розв'язанню даної проблеми. У роботі [1] похиби визначення псевдовіддалей поділяють на три групи:

- дифузне пряме розсіювання (проходження сигналу повз хаотично розташовані предмети), яке спричиняє похиби відстаней до 10 м;

- дзеркальне відбиття від близько розташованих від антени поверхонь, що дає похиби визначення псевдовідстаней до 6 м;

- флюктуації дуже низької частоти, звичайно пов'язані з відбиванням від поверхні води, що спричиняє похиби визначення псевдовідстаней до 10 м.

Додаткове відбиття сигналів досягає максимального впливу при фазовому зсуві відбитого сигналу на $\frac{1}{4}$ цикла. У лінійній величині вона рівна $\lambda/4=5$ см. (при довжині хвилі $\lambda = 20$ см). Однак, ці розрахунки стосуються однієї хвилі, а при опрацюванні всієї сукупності хвиль, які приймає GPS-приймач, величина похиби за множинність поширення сигналів не повинна перевищувати 1 см, за умови достатньо тривалого інтервалу спостережень та якісної конфігурації сузір'я супутників [1].

При дотриманні цих умов є можливе усунення цієї похиби шляхом спектрального аналізу зміни положення визначальної точки протягом усього інтервалу спостережень [2].

З'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Одним із сучасних напрямків розширення можливостей GPS-технологій є їх застосування в умовах, які не відповідають вимогам для GPS-вимірювань. Зокрема, це стосується розвитку міських геодезичних мереж за допомогою GPS-технологій. Особливо активний науковий та технологічний пошук ведеться у напрямку проведення GPS-вимірювань у частково закритих приміщеннях, що вимагає інтеграції GPS-технологій з наземними радіонавігаційними системами. Безумовно, розвиток цих напрямків вимагає досконалого вивчення впливу множинності поширення GPS-сигналів на точність визначення місцеположення.

Невирішені частини загальної проблеми. Практичні рекомендації виключення множинності поширення сигналів передбачають проведення вимірювань в умовах, які задовільняють вимоги до проведення GPS-вимірювань. Існуюча методика врахування спектральним аналізом множинності поширення сигналів не надає можливість виключити систематичну частину цієї похиби. Крім цього невідома зміна кількісних параметрів цієї похиби у залежності від відстані між антеною та відбиваючою поверхнею, а також вплив на цю похибку фізичної структури відбиваючої поверхні (матеріал, з якого утворена поверхня, чистота обробки поверхні). Дослідження впливу цих факторів на точність GPS-вимірювань має важоме значення на прискорення впровадження GPS-технологій в умови, в яких суттєво обмежена видимість супутників.

Постановка завдання. Метою даної роботи є вивчення впливу множинності поширення GPS-сигналів на точність визначення місцеположення антени GPS-приймача.

Пристрій складається з електродвигуна змінного струму, що жорстко закріплений на станині редуктора. Станиця уявляє собою металеву ливарну коробку, виготовлену з сілумінового сплаву. Вал двигуна через отвір у коробці під'єднаний до черв'яка, який контактує з зубчастим колесом. Передаточне значення складає 1:20. Вал зубчастого колеса проходить через верхню кришку станини і фіксується опорним підшипником. На кінцевій частині валу розташований шток з різьбовою нарізкою для сполучення з несучою штангою. На довшому кінці штанги з допомогою вісі, яка перпендикулярна до штанги, кріпиться антена GPS приймача, а на протилежному – ємність для розміщення GPS апаратури та її живлення. З зовнішньої сторони нижньої частини станини закріплена втулка від геодезичного приладу, що вставляється у підставку. Таким чином уся конструкція встановлюється на геодезичному штативі. При подачі струму на електродвигун штанга починає обертатися навколо осі, переміщуючи антенну за колом з радіусом, що дорівнює довжині штанги. Це надає можливість безперервно контролювати положення фазового центра у просторі. Виконання вимірювань у кінематичному режимі дозволяє встановити відхилення визначеного положення фазового центра від заданого кола. Для цього другий (базовий) приймач знаходитьться на довільно вибраній відстані від пристрою. Систематичний прояв цього ефекту повинен спостерігатися при розташуванні біля встановленого пристрою відповідної відбиваючої поверхні. Рух антени по колу призводитиме до її поступового наближення до відбиваючої поверхні і відповідного віддалення. Багаторазове обертання антени по заданому колу дозволяє зібрати значну кількість результатів вимірювань і дослідити вплив додаткового відбиття сигналів, точність визначення місцеположення антени за результатами кінематичного методу вимірювань.



Рис. 1. Пристрій для дослідження впливу додаткового відбиття GPS-сигналів на точність вимірювань

Перше випробування запропоновано пристрою виконано у Львові на даху II-го навчального корпусу Національного університету „Львівська політехніка”(рис.1). Відбиваюча поверхня служила цегляна стіна висотою 2,5м. Мінімальна відстань між антеною і відбиваючою поверхнею у процесі руху антени досягала 2 м. Під час руху антена описувала коло радіусом 1,59м. Кутова швидкість руху антени була рівна 1 коло за 4с. Базова станція знаходилась на відстані 5м від пристроя. Частота фіксації епох була рівна 1с. Параметр GDOP у процесі спостережень не перевищував 3 одиниць. Тривалість вимірювань була рівна 30хв. Перед спостереженнями протягом 10хв. виконувалась ініціалізація рухомої антени у статичному положенні відносно базової. Після цього було розпочато обертовий рух антени. Спостереження проводились двочастотними приймачами фірми LEICA SR-399 (базовий) і SR-9500 рухомий. Опрацювання вимірювань проводилось за допомогою програмного забезпечення SKI (фірми LEICA).

У результаті вимірювань визначено місце положення понад 2000 точок рівномірно розташованих по заданому колу. На рис. 2. представлена зміна радіуса кола обертання GPS-антени у процесі вимірювань, і як видно, систематичне накопичення похибок у процесі вимірювань не спостерігається.

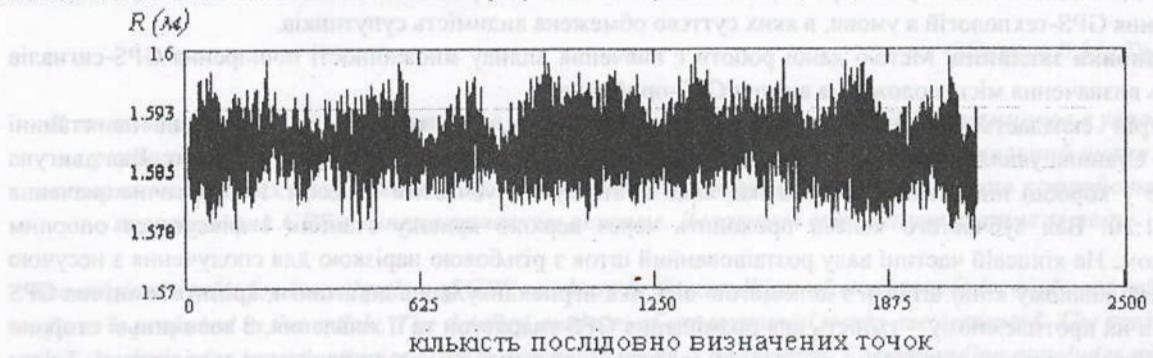


Рис. 2. Зміна радіуса кола обертання GPS-антени у процесі вимірювань

На рис. 3. представлено зміну висоти GPS-антени у процесі вимірювань, що також підтверджує відсутність накопичення систематичних похибок у процесі вимірювань.

Зміна радіуса описаного антеною кола є у межах $\pm 1\text{ см}$. У висотному плані коливання антени є у межах $\pm 4\text{ см}$.

З метою встановлення впливу додаткового відбиття GPS-сигналів на рис. 4. представлено впорядковані за азимутом довжини визначених радіусів-векторів. Аналіз рис. 4. дозволяє впевнено стверджувати про систематичне відхилення довжини радіуса вектора. При цьому амплітуда відхилення довжини радіуса-

вектора досягає мінімуму при азимуті 330° , що практично співпадає з азимутом нормалі, проведеної до відбиваючої поверхні.

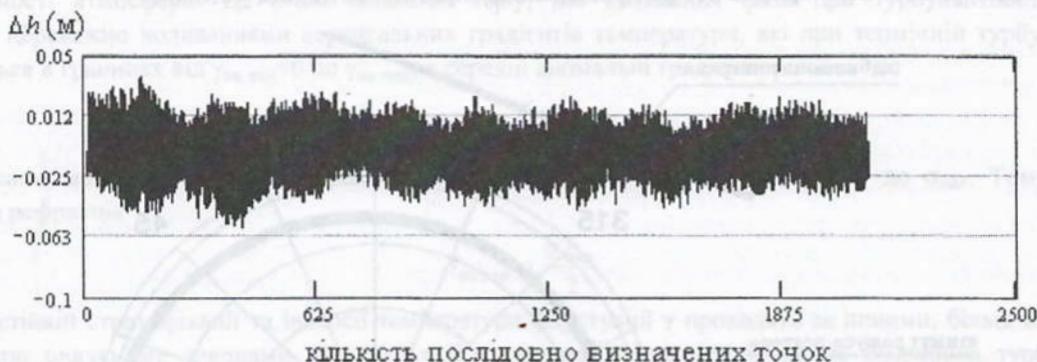


Рис. 3. Зміна висоти GPS-антени у процесі вимірювань.

З метою встановлення функції, визначеній за результатами вимірювань траекторії руху антени, нами виконана апроксимація рядом Фур'є визначених довжин радіус-векторів у залежності від їх азимутів. При цьому ми обмежилися у наступному виразі першими гармоніками

$$R = R_0 + a \cos(\alpha) + b \sin(\alpha) \quad (1)$$

де: R_0 - середній радіус вектора антени GPS-приймача, a, b - гармонічні коефіцієнти, α - азимут радіуса-вектора. У результаті апроксимації під умовою способу найменших квадратів вираз (1) у нашому випадку набуває такого вигляду:

$$R = 1.5876 - 0.0036 \cos(\alpha) + 0.00184 \sin(\alpha) \quad (2)$$

Мінімум функції (2) відповідає азимуту 332° , що строго співпадає із азимутом нормалі, проведеної до відбиваючої поверхні.

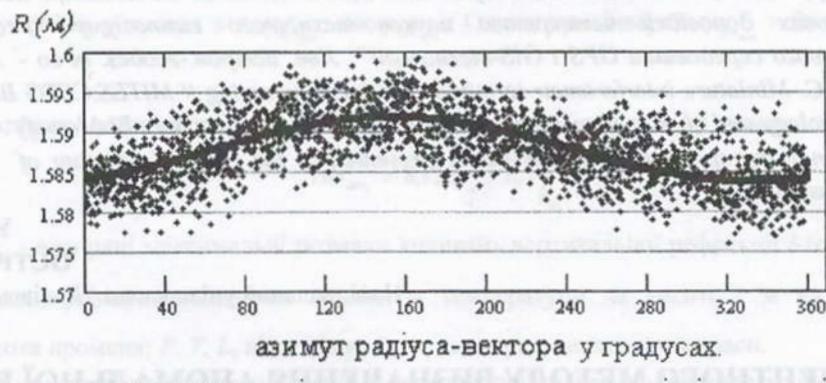


Рис. 4. Впорядковані за азимутом довжини визначених радіус-векторів

На рис. 5 представлена визначена траекторія руху антени щодо кола, яке є дійсною траекторією. Як видно з рис. 5 визначена траекторія руху антени зазнає максимального спотворення при наближенні до відбиваючої поверхні. Встановлена траекторія у азимутальному секторі $90-210^{\circ}$ практично збігається з дійсною коловою кривою. Ця дуга є максимально віддалена від відбиваючої поверхні. Радіус кривої у секторі $210-90^{\circ}$ при наближенні до відбиваючої поверхні поступово зменшується. Максимальне зменшення радіуса визначеній кривої досягає 6 мм при азимуті радіуса вектора 332° .

Висновки. Проведені дослідження дозволили встановити систематичний характер впливу додаткового відбиття GPS-сигналів на точність визначення місцеположення антени та орієнтовно оцінити величину цього ефекту. За допомогою розробленого пристрою у перспективі з'являється можливість оцінити вплив додаткового відбиття GPS-сигналів на точність визначення місцеположення у залежності від віддалі антени

від відбиваючої поверхні та її фізичної структури. Такі дослідження допоможуть розширити можливості застосування GPS-технологій в умовах додаткового відбиття сигналів. Крім цього цей пристрій дозволяє проводити еталонування GPS-приймачів при проведенні вимірювань кінематичним методом.

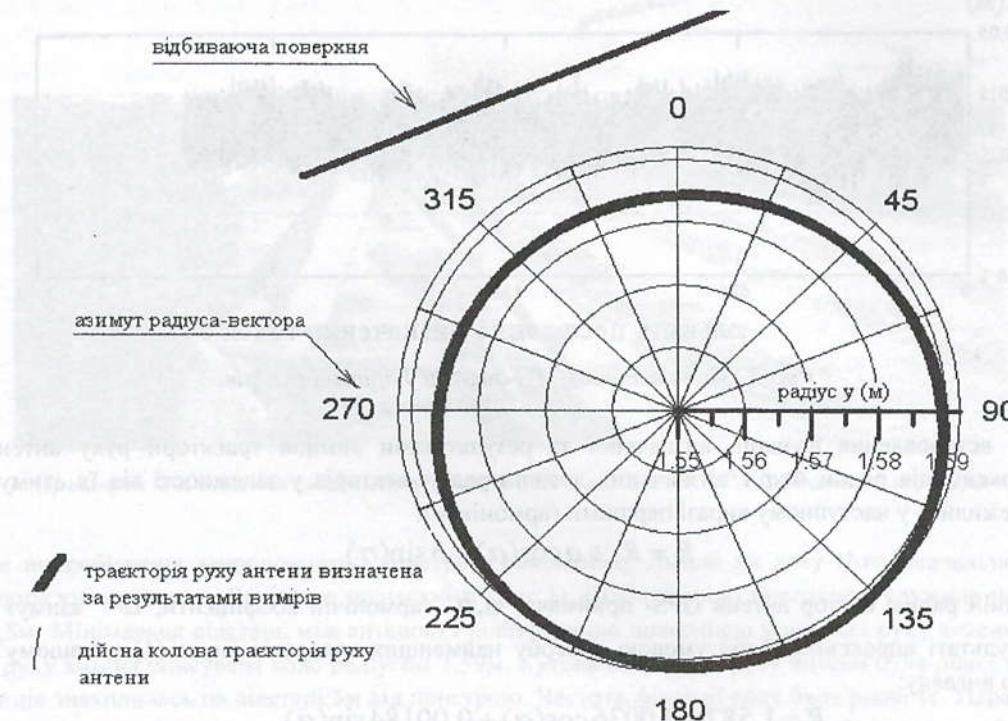


Рис. 5. Траекторія руху антени визначена за результатами вимірюв.

1. Третяк К.Р., Турук Д.М., Мандзюк В.І., Мороз А.А. Деякі питання оптимізації навігаційних GPS вимірювань//Збірник наукових доповідей четвертого науково-технічного симпозіуму "Геоінформаційний моніторинг навколошнього середовища GPS i GIS-технологій": Льв. астрон.-геодез. т-во – Львів, 1999.- С. 37-45.
2. Counselman C.C. Miniature interferometer terminals for earth surveying // MITES.CSTG Bulletin vol International Activities, Technology and Mission Developments. - 1981.
3. Li Z., Schwarz K.P. El-Mowafy A. GPS multipath detection and reduction using spectral technique//Paper presented at the General Meeting of IAG at Beijing, P.R.China. – 1993, August 8-13.