

УДК 528.4

к.т.н., доцент Терещук О.І., Нистор'як І.О.,  
Чернігівський державний інститут економіки і управління

## АНАЛІЗ GNSS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ У ПІВНІЧНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ

*Проаналізовано GNSS-спостереження отримані в рамках проведення першої GNSS-кампанії у Північному регіоні. Розглянуто вплив DOP фактора та ефекту багатошляховості на результати.*

**Ключові слова:** GNSS-спостереження, DOP фактор, багатошляховість, державна геодезична мережа, базова станція.

**Вступ.** З метою дослідження точності виконання геодезичних та земельно-кадастрових робіт в Північному регіоні України було проведено експериментальні GNSS-спостереження на пунктах Державної геодезичної мережі (ДГМ) [8].

Проаналізуємо деякі характерні фактори, які впливають на точність GNSS-спостережень.

Одна з характерних особливостей визначення місцезнаходження точок на основі використання просторової лінійної засічки полягає в тому, що результуюча точність координатних визначень залежить не тільки від точності виконуваних віддалемірних вимірювань, але і від геометрії розташування спостережуваних супутників [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що значення похибок залежать від багатьох факторів, таких як - точність визначення орбіт супутників, атмосферні умов розповсюдження сигналу, географічне місце розташування пункту спостереження, GNSS-обладнання тощо тому детальний аналіз та вивчення їх впливу на результати супутникових спостережень має неабияке значення [1, 2, 4, 5, 7, 9, 10].

**Виклад основного матеріалу.** Середня квадратична похибка (СКП) положення пункту в просторі X, Y, Z, визначається з рівняння просторової трилатерації:

$$M^2 = \begin{pmatrix} M_X^2 \\ M_Y^2 \\ M_Z^2 \end{pmatrix} = \mu^2 \begin{bmatrix} Q_{XX} & K_{YX} & K_{ZX} \\ K_{XY} & Q_{YY} & K_{ZY} \\ K_{XZ} & K_{YZ} & Q_{ZZ} \end{bmatrix} = \mu^2 Q \quad (0.1)$$

де  $\mu$  - СКП одиниці ваги;  $Q_{xx}$ ,  $Q_{yy}$ ,  $Q_{zz}$  - обернені вагові коефіцієнти визначуваних координат;  $K_{ij}$  - коваріаційні моменти.

В побудовах просторової трилатерації можна прийняти  $Q_{xx} = Q_{yy}$ , вони характеризують точність координат горизонтальних (планових) визначень, а  $Q_{zz}$  - висотних. При цьому  $Q_{zz}$  в декілька разів перевищує  $Q_{xx}$  у просторовій трилатерації [3].

DOP (Dilution of precision) – фактор зниження точності при визначенні місцеположення в просторі. DOP буває різний: геометричний (GDOP), позиційний (PDOP), горизонтальний (HDOP), вертикальний (VDOP) і часовий (TDOP).

$$HDOP = \sqrt{Q_{xx} + Q_{yy}} \quad (0.2)$$

$$VDOP = \sqrt{Q_{zz}} \quad (0.3)$$

$$PDOP = \sqrt{Q_{xx} + Q_{yy} + Q_{zz}} \quad (0.4)$$

$$TDOP = \sqrt{Q_{TT}} \quad (0.5)$$

Коефіцієнт для часу TDOP виникає коли вводиться поправка годинника приймача як додаткова невідома і вираз (0.1) стає матрицею четвертого порядку.

У багатьох віддалемірних системах геометрія зв'язку «приймач-передавач» впливає на точність визначення місця розташування [10]. На рис.1(а) похибка місцеположення незначна (низька втрата точності), а на рис.1(б) передавач 2 зсувається ближче до передавача 1, і, відповідно, збільшується область невизначеності місцерозташування (висока втрата точності). Невизначеність місцерозташування приймача на рис.1 показана зафарбованою областю. Існує деяка похибка у вимірюваннях приймача, тому, положення еліпса, що визначає віддаль, буде неточним, що в підсумку призведе до похибки обчислення координат приймача. Ця похибка залежить від взаємної геометрії положення приймача і передавачів.

На рис.1(а) передавачі розташовані на великій відстані один від одного, даючи відносно невелику область, в якій з деякою вірогідністю може знаходитися приймач. Передавач 1 знаходиться в перпендикулярному напрямку до передавача 2, так, що координати X та Y приймача визначаються з рівною точністю.

На рис.1(б) передавачі розташовані ближче один до одного, що в результаті дає значно більшу область невизначеності, в якій достовірність отримання Y координати буде менше, ніж X координати [11].

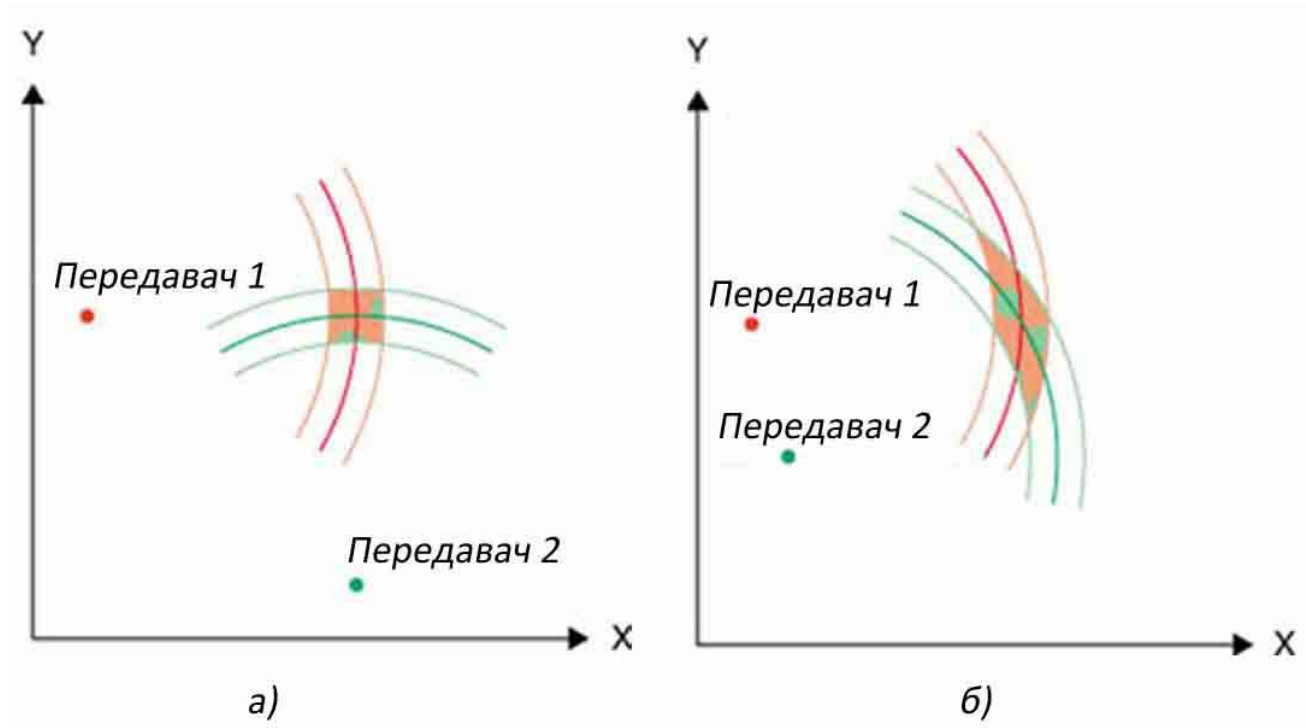


Рис.1. Фрагмент «сузір'я» супутників при знаходженні:  
а) на значній відстані один від одного;  
б) на незначній відстані один від одного.

Величину геометричного фактора часто пов'язують з об'ємом багатогранної фігури, вершини якої поєднують з місцеположенням супутників і пункту спостереження. При цьому встановлено, чим більше об'єм цієї фігури, тим слабкіше проявляється вплив геометрії розташування супутників на результуючу точність позиціонування. У міру взаємного зближення супутників цей обсяг зменшується, а вплив геометричного фактора зростає.

Величина GDOP найчастіше використовується як критерій можливості отримання високої точності GPS-вимірювань в залежності від геометрії розташування супутників. Більшість фахівців не рекомендує проводити високоточні супутникові геодезичні вимірювання при значеннях GDOP більше 8. Якщо ж у визначені несприятливі періоди при GDOP більше 8 спостереження все ж проводилися, то на стадії обробки вони не будуть братися до уваги програмами обробки вимірювань.

Розглянемо результати (наведені в таблиці).

В табл.1 та табл.2 наведено зміни геометричного фактору та багатошляховості на базових станціях «м.Чернігів», «м.Короп», «м.Прилуки», та на роверних «Кроти», «Жовтневе», «Кербутовка», «Даневка» та «Короп».

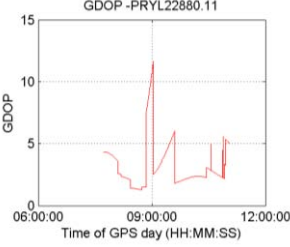
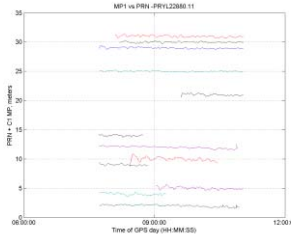
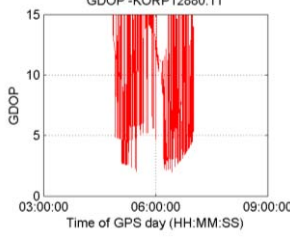
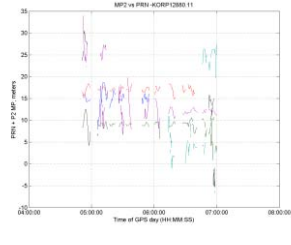
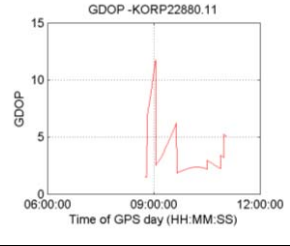
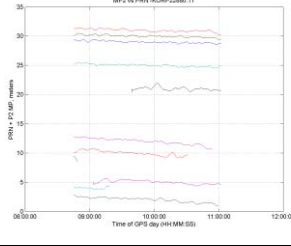
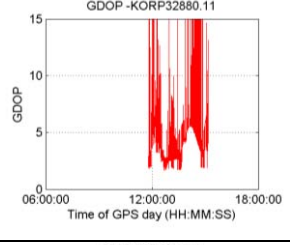
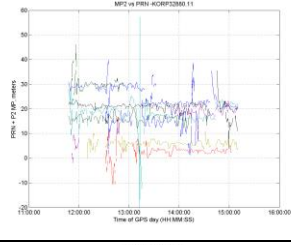
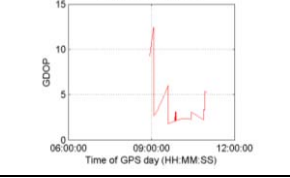
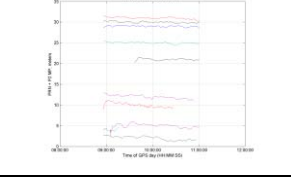
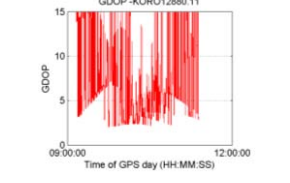
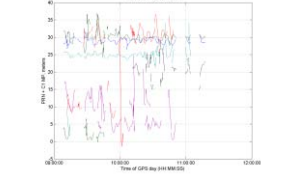
Таблиця 1

**Зміни геометричного фактору точності GDOP та багатошляховості на базових станціях за результатами попередньої обробки GNSS-спостережень**

№	Назва пункту	Графік зміни GDOP протягом періоду спостережень	Графік зміни багатошляховості на частоті L2 протягом періоду спостережень
1	«м. Чернігів»		
2	«м. Короп»		
3	«м. Прилуки»		

Таблиця 2

**Зміни геометричного фактору точності GDOP та багатопроменевості на роверних станціях за результатами попередньої обробки GNSS-спостережень**

№	Назва пункту	Графік зміни GDOP протягом періоду спостережень	Графік зміни багатопроменевості на частоті L2 протягом періоду спостережень
1	«Кроти»	 <p>GDOP -PRYL22880.11</p>	 <p>MP1 vs PRN -PRYL22880.11</p>
2	«Жовтневе»	 <p>GDOP -KORP12880.11</p>	 <p>MP2 vs PRN -KORP12880.11</p>
3	«Головеньки»	 <p>GDOP -KORP22880.11</p>	 <p>MP2 vs PRN -KORP22880.11</p>
4	«Кербутовка»	 <p>GDOP -KORP32880.11</p>	 <p>MP2 vs PRN -KORP32880.11</p>
5	«Даневка»	 <p>GDOP -KOZL22880.11</p>	 <p>MP2 vs PRN -KOZL22880.11</p>
6	«Короп»	 <p>GDOP -KORO12880.11</p>	 <p>MP1 vs PRN -KORO12880.11</p>

На основі узагальнення наведеної вище інформації може бути зроблено висновок про те, що найбільш ефективним методом ослаблення впливу геометричного фактора на точність GNSS позиціонування є вибір найбільш сприятливих періодів спостережень при складанні розкладів GNSS-вимірів на стадії планування спостережень.

На перманентних базових станціях наведені результати добових спостережень, а на роверних - двогодинних. Зауважимо, що на пунктах спостережень «Кербутовка», «Жовтневе» та «Короп» отримані результати свідчать про певні похибки, пов'язані, на нашу думку, з місцезрештуванням самих пунктів ДГМ.

Розглянемо наступний чинник. При проходженні навігаційного сигналу від супутника до приймача з'являються похибки від впливу ефекту багатошляховості, що виникають внаслідок відбиття від поверхонь. При цьому виникає явище інтерференції, і виміряна відстань виявляється більша за дійсну. Відбиті сигнали зсувають кореляційний пік і спотворюють теоретично симетричну кореляційну характеристику приймача. Це і спричинює похибки у вимірюваннях фази і псевдовіддалі. Найпростіший спосіб уникнути даного виду похибок - це вибір максимально відкритого місця для проведення GNSS-спостережень [5].

Зазвичай похибка багатошляховості повільно змінюється протягом сеансу спостережень, і тоді може виключатися при усередненні. В коротких сеансах спостережень або при таких явищах як, наприклад, різка зміна погоди, багатошляховість не може бути усереднена і може серйозно впливати на отримані результати.

У зв'язку з тим, що при супутникових вимірюваннях використовуються обидва типи коливань, то вплив багатошляховості стосується як фазових вимірювань, що базуються на використанні несучих коливань, так і кодових вимірювань, заснованих на застосуванні модулюючих сигналів.

Враховуючи, що довжини несучих хвиль складає близько 20 см, то максимальна похибка фазових вимірювань може досягати значень близько 5 см. У тих рідкісних випадках, коли відбитий сигнал перевищує прямий (наприклад, за наявності додаткового затухання на шляху проходження прямого сигналу), ця похибка може наблизитися до 10 см. Невеликі предмети хвилі обігнуть, а, наприклад, будівлі та дерева вкриті листям на шляху радіосигналу призведуть до зриву фазових вимірювань [10]. Розглянемо рис.2

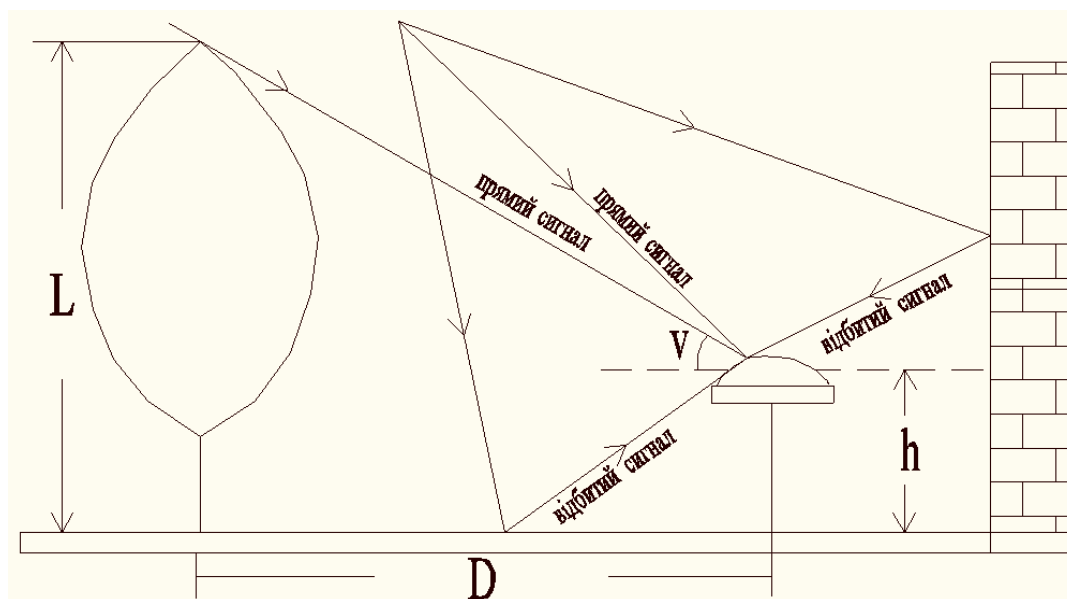


Рис.2. Прямі і відбиті сигнали та перешкоди на шляху сигналів

З рис.2 знайдемо на якій відстані від антени не має бути перешкод:

$$L = D \cdot \operatorname{tg} v + h \quad (0.6)$$

Де  $L$  – висота перешкоди,  $h$  – висота центру антени,  $v$  – кут нахилу променя радіосигналу,  $D$  – відстань до перешкоди.

В табл.3 наведено розрахунок допустимих висот перешкод та відстаней до них.

При заданих відстанях до них, висотах антен та при куті розташування супутника на горизонті  $v = 10^\circ$ . Як видно з таблиці 3, при встановленні антени на штативі на стандартну висоту ( $h = 1,5 - 3,0 \text{ м}$ ) та відстані до найближчої перешкоди до 20м, висоти допустимих перешкод можуть сягати 5-6м.

При фазовому методі має місце чутливість до будь-яких зривів сигналів. При кодових вимірюваннях сигнали мають доволі широкий частотний спектр, його прийняти легше, тому спостереження можливі навіть під кронами дерев.

Таблиця 3

#### Допустима висота перешкоди залежно від відстані до неї

Відстань до перешкоди, м	Допустима висота перешкоди (в м) при $h=1,5$	Допустима висота перешкоди (в м) при $h=2$	Допустима висота перешкоди (в м) при $h=3$
20	5,0	5,5	6,0
50	10,3	10,8	11,3
100	19,1	19,6	20,1
150	27,9	28,4	28,9
200	36,8	37,3	37,8

У випадку зі станціями «Короп», «Жовтневе» та «Кербутовка», як видно з рис.3(б), спостереження проводилися в змішаному лісі. Висота дерев складала близько 20 м, а відстань до них від пункту спостереження – близько 5 м. На пункті «Кроти»( рис.3(а)) горизонт приладу був «чистим» на відстані більше 200м.



а)



б)

Рис.3. Розташування GNSS-приймачів на пунктах ДГМ  
а) на пункті «Кроти»; б) на пункті «Короп».

Щоб уникнути впливу багатопляховості в процесі робіт необхідно стежити, щоб точки знімального обґрунтування не потрапляли в зони, близькі до великих металевих об'єктів (опори високовольтних ліній електропередач, нафтоналивні баки і т.п.).

**Висновки.** В результаті проведених робіт можна зробити висновок, що для зменшення впливу DOP на результати спостережень попередній розрахунок значення геометричного фактора має бути проведений перед початком польових супутникових вимірювань на основі інформації про розташування супутників, що міститься в альманасі на відповідний момент часу і знання наближених координат на пункті спостереження.

З огляду на тривалість спостережень, яка складала по 2 год на роверному пункті спостережень та добові спостереження на базових станціях, можна констатувати, що на пунктах, які розміщені на відкритому горизонті ефект багатопляховості впливає меншим чином, ніж на пунктах поблизу перешкод.



### Список використаних джерел

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В двух томах. Том 1. Монография / Антонович К.М.; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия» – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В двух томах. Том 2. Монография / Антонович К.М.; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия» – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. – 360 с.
3. Ворошилов А.П. Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ: Учебное пособие. — Челябинск: АКСВЕЛЛ, 2007. — 163 с.
4. Генике А.А. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. Изд. 2-е, перераб. и доп. / А.А. Геннике, Г.Г. Побединский // М.: Картгеоцентр, 2004. – 355 с.
5. Глотов В.М. Оцінка впливу додаткового відбиття GPS сигналів на точність визначення місцеположення /В.М. Глотов, Третяк К.Р.// Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2004. – № 65. – С. 72–76.
6. Гофманн-Велленгоф Б. Глобальна система визначення місцеположення місцеположення (GNSS): теорія і практика / Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Коллінз Д. – К.: Наукова думка, 1996. – 376 с.
7. Задемленюк А.В. Використання технології кінематики в реальному часі (RTK) для розв'язання прикладних задач геодезії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія» / А. В. Задемленюк. – Львів, 2011. – 24 с.
8. Перша GNSS-кампанія у Північному регіоні України / [Яцків Я.С., Терещук О.І., Нисторяк І.О. та ін.] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2012. - Випуск І(23). – С.38-40.
9. Полець О. П. Вплив поширення відбитих сигналів на точність роботи GPS-приймачів / О. П. Полець // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 2. – С. 18–23.
10. Серапинас Б. Б. Глобальные системы позиционирования / Серапинас Б. Б. – М.: ИКФ «Каталог», 2002. – 106 с.
11. Swanson E.R. Geometric Dilution of Precision / E.R Swanson // Navigation: Journal of The Institution of Navigation/ – 1978. – Vol. 25 №4. –P. 425–429.

### Аннотация

В статье проанализированы GNSS-наблюдения полученные рамках проведения первой GNSS-кампании в Северном регионе. Рассмотрено влияние DOP фактора и эффекта многолучевости на результаты.

### Abstract

The article analyzes the GNSS-observations obtained in the framework of first GNSS-campaign in the North region. The effect of DOP factor and multipath effect on the results.