

УДК 528.48

## УРАХУВАННЯ ЗАКРИТОСТІ ГОРИЗОНТУ ПІД ЧАС GPS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ ДЛЯ ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВОЇ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

О. Янчук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

П. Черняга, Ю. Голубінка

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** GPS-спостереження, обмежена видимість горизонту.

### Постановка проблеми

Одним з важливих етапів підготовчих робіт до GPS-спостережень є створення абрисів перешкод на пунктах знімання [2, 3, 5]. Надалі на основі складених абрисів виконується планування спостережень з використанням програм типу “Planning”, “Quick Plan” тощо. За їх допомогою можна отримати детальну інформацію про зміну кількості видимих супутників та час їх появи, кут підвищення над горизонтом та азимут, а також значення DOP протягом часу знімання. Використовуючи ці дані, вибирають оптимальний інтервал часу для спостережень.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій, які стосуються цієї проблеми

Певні аспекти використання GPS в умовах обмеженої видимості горизонту описані, зокрема, у працях [4], [6] та [8]. Так, у роботі С. Мальярчук, П. Черняги, Р. Янчука [6] запропоновано методику вибору місця встановлення GPS-приймачів з урахуванням розміщення інженерних споруд. А.В. Дронов, О.Н. Помогаєв [4] виконали дослідження точності визначення висотних відміток на заліснених територіях за допомогою GPS. У роботі колективу іноземних вчених [8] проаналізовано ефект від збільшення кількості супутників в зоні видимості, в умовах “міського каньйону”.

В наших попередніх дослідженнях [7] промодельовано і виконано аналіз точності спостережень у разі розташування приймачів у різних ситуаціях, а саме: базовий приймач розміщений на відкритій території, а роверний – на території із закритою видимістю почергово на північ, південь, схід та захід. Обробка спостережень виконувалась при моделюванні кута відсікання на роверному приймачі 0°, 5°, 15°, 30°, 45°. Отримані результати свідчать, що навіть в умовах обмеженої видимості небосхилу недоцільно використовувати сигнали із супутників, розташованих на низьких кутах підвищення (0° та 5°).

Нами також здійснено дослідження при розташуванні роверного приймача у центрі тери-

торії округлої форми, оточеній за периметром будівлею певної висоти. Дослідження виконано при куті відсікання в межах 35–65° з кроком 5°. На основі отриманих результатів на території з висотною забудовою за допомогою сервісу Google Maps визначено місця, придатні для GPS-спостережень із заданою точністю.

Крім того, проаналізовано точність визначення місцеположення за різних варіантів розташування роверного приймача всередині території квадратної форми, оточеної за периметром будівлею певної висоти. Залежно від розміру згаданої території (надалі – забудованого квадрата) та висоти перешкод – змінюється й конфігурація видимості небосхилу навколо приймача. Обчислення виконано у 25 варіантах розташування приймача всередині забудованого квадрата з розмірами сторін – 100, 80, 60 та 40 м.

Згадані 25 варіантів розташування приймача розділено на шість груп з подібною конфігурацією видимості небосхилу навколо приймача. Тобто у варіантах розташування приймача, об'єднаних в одну групу, конфігурація видимості небосхилу зберігається, а змінюється лише сторона світу, на яку зберігається видимість та площа видимого сектора (залежно від розміру забудованого квадрата та висоти перешкоди). Крім того, створена ще сьома група, у якій змінюється кут відсікання, на який закрита видимість. На рис. 1 схематично показано абриси конфігурації перешкод для представника кожної групи варіантів розташування приймача.

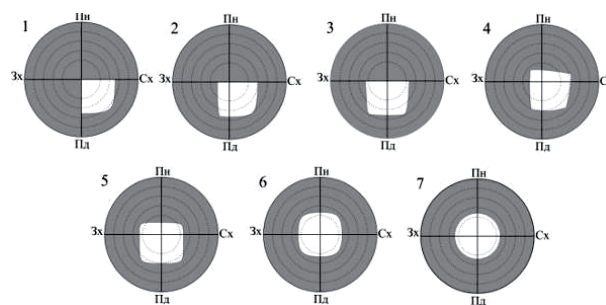


Рис. 1. Абриси конфігурації перешкод

**Постановка завдання**

У цій роботі пропонується методика попередньої оцінки можливості виконання GPS-спостережень за обмеженої видимості горизонту та їх орієнтовної точності без використання додаткового програмного забезпечення. Для цього проаналізуємо залежність між закритістю горизонту та можливістю виконання GPS-спостережень і їх оцінкою точності, використавши результати наших попередніх досліджень [7].

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Для урахування закритості горизонту необхідно встановити критерій, за допомогою якого можна оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень. Пропонуємо такий критерій назвати коефіцієнтом закритості горизонту. Точність та успішність опрацювання базових ліній залежить від кута підвищення, на який закрита видимість, тому для обчислення коефіцієнта закритості горизонту логічно використати функцію, аргументом якої є кут підвищення закритості горизонту.

Пропонуємо визначати коефіцієнт закритості горизонту на основі такого алгоритму: розділимо небесну сферу на 360 секторів по 1° і кожному сектору присвоюємо вагу, яка залежить від кута підвищення закритості видимості. Очевидно, що кут закритості горизонту в кожному секторі може лежати у межах 0–90°. Для того, щоб вага кожного сектора була в межах від 0 до 1, підберемо коефіцієнт, який є синусоїдальною функцією. Зрозуміло, що при закритості небосхилу на однакових за площею секторах (рис. 2) кращий результат буде за меншого кута закриття горизонту, як показано нижче.

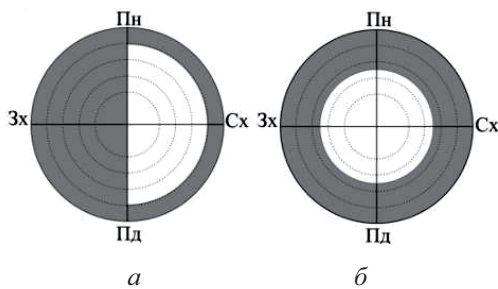


Рис. 2. Абриси перешкод з однаковим за площею закриттям небосхилу: а – при розташуванні роверного приймача безпосередньо під перешкодою; б – при розташуванні роверного приймача у центрі території округлої форми, оточеній за периметром будівлею

На рис. 2 наведено абриси перешкод у точках встановлення роверного приймача з кутом відсікання 15° при реєстрації даних спос-

тережень. У результаті досліджень нами встановлено, що для базової лінії довжиною 1 км можна очікувати при тривалості сесії спостереження 60 хв орієнтовну ймовірність успішного визначення базових ліній на рівні 80 % для випадку, зображеного на рис. 2, а та 90 % для випадку рис. 2, б. Орієнтовна точність просторового положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової при цьому становить 17 мм (рис. 2, а) та 7 мм (рис. 2, б); планового – відповідно 7 та 2 мм, а висотного – 15 та 6 мм. За тривалості сесії спостереження 30 хв орієнтовна ймовірність успішного визначення становить відповідно 70 % та 80 %, а орієнтовна точність просторового положення – 21 та 8 мм, планового – 11 та 3 мм, а висотного – 18 та 7 мм.

Оскільки закритість горизонту за більшого кута відсікання істотно впливає на точність визначення координат, то логічно припустити, що вона повинна дати меншу точність і мати більшу вагу, ніж аналогічний за площею сектор з меншим кутом відсікання. Проаналізувавши можливість спостережень і зміну точностей визначення координат, при зміні кута відсікання, на який закрита видимість, нами експериментально вибрано функціональну залежність для обчислення ваги впливу сектора на точність. Її можна подати синусоїдальною функцією виду  $\sin^3 \nu$ . Відповідно пропонуємо формулу для обчислення коефіцієнта закритості горизонту у вигляді:

$$k_{закр} = \sum_{i=1}^{360} \sin^3 \nu . \quad (1)$$

Враховуючи формулу (1), варто зауважити, що запропонований коефіцієнт закритості горизонту – безрозмірна величина, яка може набувати значень у межах від 0 до 360.

За наведеною формулою (1) обчислено значення коефіцієнта закритості горизонту для груп 1–6, поданих на рис. 1, при розмірах сторін забудованого квадрата 100, 80, 60 та 40 м. Отримані значення наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Коефіцієнт закритості горизонту для груп 1–6**

№ груп	Розмір сторони забудованого квадрата, м			
	100	80	60	40
1	272	273	276	285
2	202	212	228	255
3	191	198	214	245
4	74	103	147	207
5	55	81	125	191
6	31	53	95	168

Для точок сьомої групи значення коефіцієнта закритості горизонту подано в табл. 2.

Таблиця 2

**Коефіцієнт закритості горизонту  
для групи 7**

№ групи	Кут відсічки, °						
	35	40	45	50	55	60	65
7	68	96	127	162	198	234	268

На основі результатів досліджень нами обчислено статистичну оцінку коефіцієнта кореляції [1] між запропонованим коефіцієнтом закритості горизонту і відсотком успішно опрацьованих базових ліній (107 точок). В обчисленнях використано результати опрацювання базових ліній при тривалості сесій спостережень 120, 60, 30 та 15 хв та їх довжинах – 1, 4 та 7 км. Результати наведено у табл. 3.

Оцінка коефіцієнта кореляції  $r^*$  лежить у межах від  $-0,81$  до  $-0,94$ , при  $r_{\min}=0,27$  та оцінка середнього квадратичного відхилення коефіцієнта кореляції  $\sigma_r$  у межах  $0,01-0,03$ . Як відомо з

[1], кореляційний зв'язок вважається встановленим, якщо виконуються нерівності:

$$\begin{aligned} |r^*| &> 3 \times \sigma_r; \\ |r^*| &> r_{\min}. \end{aligned} \quad (2)$$

Враховуючи, що умова (2) виконується, можемо стверджувати про наявність кореляційного зв'язку між успішно опрацьованими базовими лініями та запропонованим коефіцієнтом закритості горизонту.

Визначимо статистичну оцінку коефіцієнта кореляції між коефіцієнтом закритості горизонту і точністю просторового, планового та висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової. З обчислень вилучимо результати з грубими похибками. Результати кореляційного аналізу наведено у табл. 4.

Оцінка коефіцієнта кореляції  $r^*$  лежить у межах  $0,50-0,64$ , при  $r_{\min}=0,27-0,32$  та оцінка середнього квадратичного відхилення  $\sigma_r$  у межах  $0,06-0,09$ . Враховуючи виконання умови (2), можемо стверджувати про наявність кореляційного зв'язку між точністю визначення базових ліній та запропонованим коефіцієнтом закритості горизонту.

Таблиця 3

**Статистична оцінка коефіцієнта кореляції між успішно опрацьованими базовими лініями та коефіцієнтом закритості горизонту**

Тривалість сесії спостереження, хв	120			60			30			15		
	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7
Довжина базової лінії, км	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7
Оцінка коефіцієнта кореляції $r^*$	-0,85	-0,81	-0,81	-0,94	-0,92	-0,92	-0,94	-0,93	-0,92	-0,94	-0,93	-0,93

Таблиця 4

**Статистична оцінка коефіцієнта кореляції між точністю визначення місцеположення кінцевої точки базової лінії відносно початкової та коефіцієнтом закритості горизонту**

Тривалість сесії спостереження, хв	120			60			30			15		
	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7
Довжина базової лінії, км	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7
Оцінка коефіцієнта кореляції між точністю просторового положення та коефіцієнтом закритості горизонту	0,52	0,57	0,63	0,57	0,61	0,64	0,64	0,63	0,58	0,55	0,64	0,55
Оцінка коефіцієнта кореляції між точністю планового положення та коефіцієнтом закритості горизонту	0,51	0,51	0,64	0,58	0,52	0,56	0,58	0,60	0,54	0,51	0,60	0,52
Оцінка коефіцієнта кореляції між точністю висотного положення та коефіцієнтом закритості горизонту	0,50	0,58	0,59	0,55	0,57	0,61	0,62	0,59	0,54	0,56	0,59	0,53

Враховуючи підтвердження залежності між пропонуваним коефіцієнтом закритості горизонту та ймовірністю і точністю опрацювання базових ліній, можемо використовувати цей коефіцієнт для орієнтовної оцінки ймовірності та точності виконання GPS-спостережень на основі абрису перешкод. Для цього пропонуємо поділ забудованої території, в якій передбачається розміщення роверного приймача, на умовні зони залежно від значення коефіцієнта закритості горизонту (табл. 5).

Значення в табл. 5 наведено для описаних вище умов опрацювання базових ліній (програма TGO, передані (бортові) ефемериди) з урахуванням лише обмеженої видимості горизонту та без урахування впливу таких факторів, як багатопрошляховість поширення сигналу, рефракція тощо.

Значення орієнтовної ймовірності та точності опрацювання базової лінії наведено за умови розташування базової станції на відкритій території (кут відсікання 15°). Кожна базова лінія опрацьовувалась незалежно від інших.

Таблиця 5

**Орієнтовна ймовірність та точність опрацювання базової лінії (довжиною у межах 1–7 км) залежно від значення коефіцієнта закритості горизонту**

Коефіцієнт закритості горизонту	Умовна зона	Орієнтовна ймовірність* успішного опрацювання базової лінії, %				Орієнтовна точність** опрацювання базової лінії, мм											
						просторова			планова			висотна					
		Тривалість сесії спостереження, хв															
		120	60	30	15	120	60	30	15	120	60	30	15	120	60	30	15
<50	Зона безперешкодного знімання	100	100	>95	>95	<10	<10	<11	<12	<8	<8	<9	<9	<9	<9	<10	<10
50–100	Зона незначного обмеження видимості	85–100	80–100	70–100	60–100	6–12	6–15	7–17	7–22	1–9	2–10	2–11	2–13	3–12	4–14	6–16	6–19
100–150	Зона середнього обмеження видимості	75–100	60–100	35–90	30–85	6–13	7–16	7–18	7–23	1–10	2–15	2–15	2–16	4–12	4–16	6–17	6–20
150–200	Зона значного обмеження видимості	40–100	20–70	10–55	0–45	6–20	7–25	8–35	8–47	2–11	2–20	2–24	2–29	4–18	4–23	6–31	6–43
200–250	Зона екстремального обмеження видимості	25–100	0–65	0–55	0–45	6–50	9–55	9–58	9–80	2–23	2–25	4–27	5–52	5–38	7–40	7–46	7–52
>250	Зона над екстремального обмеження видимості	15–70	0–35	0–20	0–10	7–73	10–77	11–80	11–90	2–30	4–40	7–50	7–65	7–61	8–64	8–70	8–80

**Примітки:** \*під ймовірністю успішного опрацювання базової лінії мається на увазі ймовірність того, що під час виконання спостережень без попереднього планування базова лінія буде опрацьована із задовільними характеристиками оцінки точності, обчисленими програмою TGO, тобто буде наявна необхідна для спостережень кількість супутників.

\*\*Під точністю мається на увазі середньоквадратична похибка положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової.

Для наведеного умовного поділу на зони можна дати таку характеристику:

1. До зони безперешкодного знімання належать множини точок, для яких кут відсікання лежить у межах до 31° або споруди з висотою над горизонтом до 50°, які закривають азимутальні сектори до 90°.

2. До зони незначного обмеження видимості належать множини точок, для яких кут відсікання лежить у межах до 40° або споруди з висотою над горизонтом до 70°, які закривають азимутальні сектори до 115°.

3. До зони середнього обмеження видимості належать множини точок, для яких кут відсікання лежить у межах до 48° або споруди з висотою над горизонтом до 70°, які закривають азимутальні сектори до 175°.

4. Зона значного обмеження видимості – належать множини точок, для яких кут відсічки лежить у межах до 55° або споруди з висотою над горизонтом до 70°, які закривають азимутальні сектори до 235°.

5. До зони екстремального обмеження видимості належать множини точок, для яких



кут відсікання лежить у межах до  $62^\circ$  або споруди з висотою над горизонтом до  $70^\circ$ , які закривають азимутальні сектори до  $300^\circ$ .

6. До зони над екстремального обмеження видимості належать множини точок, для яких кут відсікання лежить у межах понад  $62^\circ$ .

Спираючись на отримані результати, можна дати такі рекомендації:

– при значенні коефіцієнта закритості горизонту, меншому за 100, можливо виконувати GPS-спостереження без значного впливу обмеженої видимості небосхилу;

– при значенні коефіцієнта понад 150 можлива поява окремих грубих похибок визначення місцеположення при описаних тривалостях сесій спостережень (15–120 хв), тому рекомендується виконувати додатковий контроль вимірювань;

– при значенні коефіцієнта понад 250 збільшується ймовірність появи грубих похибок вимірювань та зменшується відсоток успішно опрацьованих базових ліній, тому не рекомендується виконувати GPS-спостереження.

Ілюстрацію практичного використання отриманих результатів показано на рис. 3–5. Для прикладу використане зображення території, одержане із сервісу Google Maps (рис. 3). У контрольних точках можливого розміщення приймача обчислено коефіцієнт закритості горизонту за формулою (1). Обчислення виконано за умови,

що висота антени приймача дорівнює 1 м, висота одного поверху споруди – 3 м, висота незавершеного будівництва на рис. 3 не перевищує одного поверху, базова станція розташована на відкритій території з кутом відсікання  $15^\circ$  на відстані, що не перевищує 7 км, тривалість сесії спостереження – 60 хвилин. На основі отриманих значень побудовано картограми орієнтовної можливості виконання GPS-спостережень (рис. 4) та орієнтовної точності просторового положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової (рис. 5).



Рис. 3. Зображення території, отримане із сервісу Google Maps

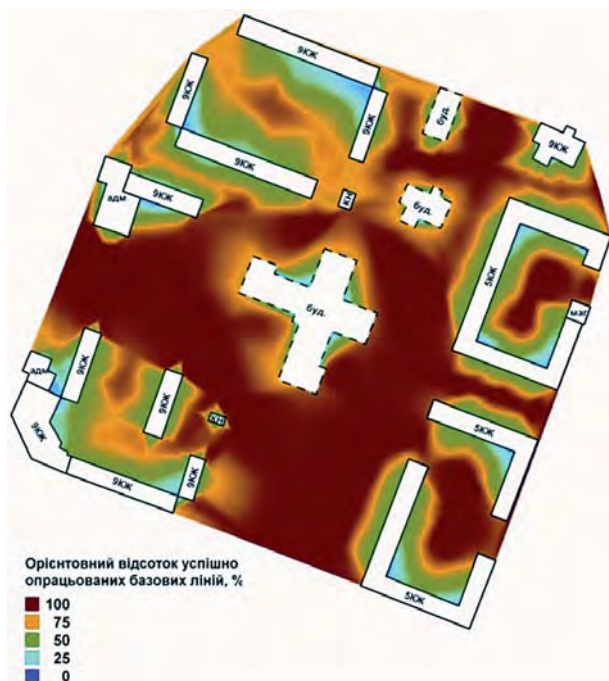


Рис. 4. Картограма орієнтовної ймовірності успішного виконання GPS-спостережень

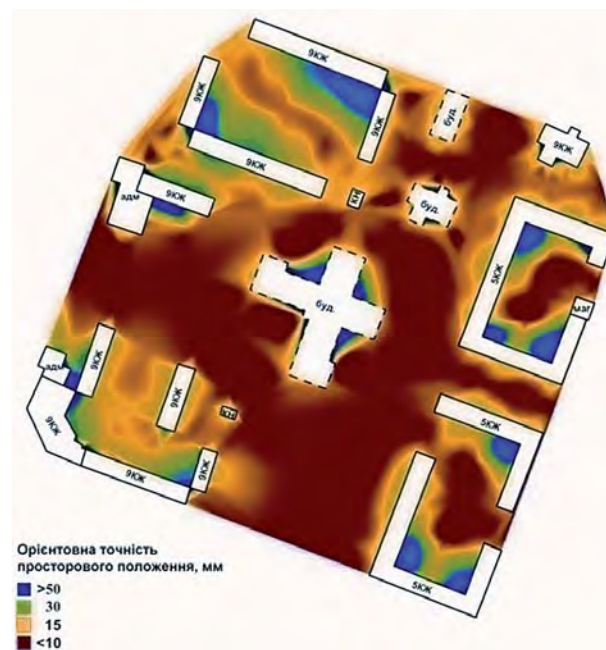


Рис. 5. Картограма орієнтовної точності просторового положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової при GPS-спостереженнях

Зазначимо, що з урахуванням використаних засобів опрацювання результатів GPS-спостережень варто нагадати про деякі заходи, які дають змогу покращити характеристики, наведені в табл. 5. До них належить використання точних ефемерид супутників, спеціалізованого програмного забезпечення, об'єднання базових ліній в замкнуті геометричні фігури, використання декількох приймачів для одночасного спостереження тощо.

### Висновки

Використовуючи запропоновану методику та враховуючи “Положення про земельно-кадастрову інвентаризацію земель населених пунктів”, затверджене наказом Державного комітету України по земельних ресурсах від 26 серпня 1997 року за № 85, “Інструкцію з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98)”, затверджену наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при КМУ від 9 квітня 1998 року за № 56, можна стверджувати, що при коефіцієнті закритості горизонту, меншому за 150 (кут відсікання лежить у межах до 48°), можна виконувати координування точок знімальної основи та межових знаків у містах республіканського та обласного підпорядкування для картографування їх територій в масштабі 1:500 та при земельно-кадастровій інвентаризації земель населених пунктів.

### Література

1. Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. – М.: Недра, 1977. – 367 с.
2. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Картогеоцентр, 2004. – 355 с.
3. Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): теорія і практика: Пер. з англ. – К.: Наукова думка, 1996. – 380 с.
4. Дронов А.В., Помогаев О.Н. Исследование точности определения с помощью GPS-высотных отметок в хвойном лесу / [http://www.navgeocom.ru/projects/5700\\_forest/index.htm](http://www.navgeocom.ru/projects/5700_forest/index.htm).
5. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS (ГКИНП (ОНТА)-02-262-02). – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 56 с.
6. Малярчук С., Черняга П., Янчук Р. Вибір місць закладання пунктів GPS-спостережень на території промайданчиків для розвитку мереж

згущення // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Л.: Ліга-Прес, 2000. – С. 196–200.

7. Черняга П.Г., Янчук О.Є. Дослідження точності GPS-спостережень при закритих частинах горизонту // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2009. – № 71. – С. 99–107.

8. O'Donnell M., Watson T., Fisher J., Simpson S., Brodin G., Bryant E., Walsh D. Galileo performance. GPS interoperability and discriminators for urban and indoor environments // GPS World. – June, 2003. – Vol. 14, №. 6. – P. 38–45.

### Урахування закритості горизонту під час GPS-спостережень для земельно-кадастрової інвентаризації земель населених пунктів

О. Янчук, П. Черняга, Ю. Голубінка

Запропоновано коефіцієнт закритості горизонту при GPS-спостереженнях. Проаналізовано зв'язок між ним та відсотком опрацьованих базових ліній і точністю їх визначення. Наведено приклад використання коефіцієнта для попередньої оцінки можливості виконання спостережень та їх орієнтовної точності.

### Учет закрытости горизонта при GPS-наблюдениях для земельно-кадастровой инвентаризации земель населенных пунктов

А. Янчук, П. Черняга, Ю. Голубінка

Предложен коэффициент закрытости горизонта при GPS-наблюдениях. Проанализирована связь между ним и процентом обработанных базовых линий и точностью их определения. Приведен пример использования коэффициента для оценки возможности выполнения наблюдений и их ориентировочной точности.

### The account of horizon “closure” in GPS-observations for settlement land cadastre inventories

A. Yanchuk, P. Chernyaga, Y. Golubinka

The coefficient of horizon “closure” in GPS-observations is suggested. The correlation between the coefficient and the percentage of the worked out baseline vectors as well as the accuracy of their determination are analysed. The example of the use of the coefficient is given for the preliminary estimation of the possibility for carrying out the observations and their approximate accuracy.