



ПОПЕРЕДНЄ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ОБМЕЖЕНОЇ ВИДИМОСТІ ГОРИЗОНТУ НА ТОЧНІСТЬ GPS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Предложен критерий, с помощью которого можно оценивать влияние препятствий на точность результатов GPS-наблюдений на основе абриса препятствий в пункте съёмки. Приведены характеристики точности в зависимости от значеный коэффициентов закрытости, полученных на основе обработки свыше 50 000 сессий наблюдений.

It is proposed a criterion for estimation of obstacles influence on accuracy of GPS observations on the basis of the obstacles contour from the survey point. The relations between accuracy characteristics and coefficients of horizon closure are considered on the basis of processing over 50 000 observation sessions.

Постановка проблеми. В останнє десятиліття відмічається стрімке зростання інтенсивності використання даних супутникових вимірювань для вирішення різноманітних завдань – від навігації до високоточного моніторингу. Це зумовлено їх перевагами у порівнянні з традиційними геодезичними технологіями: незалежність від часу доби і пори року, "всепогодність", економічність, необов'язковість прямої видимості між пунктами, можливість автоматизації процесів, безперервність вимірювань, висока точність, оперативність, одночасне визначення трьох координат, невеликі габарити обладнання, можливість виконання вимірювань у русі [1, 3, 6].

Ефективність використання супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) на відкритій місцевості не піддається сумніву. А ось у міських умовах їх використання ускладнене залежністю від зовнішніх умов (закритість небосхилу перешкодами, багатошляховість поширення сигналу тощо). Будівлі та інші перешкоди впливають на ефективну роботу приймачів, обмежуючи видимість супутників та суттєво погіршуючи геометрію супутникового сузір'я. Тому в умовах міської забудови чи за наявності деревної рослинності перевага надається традиційним геодезичним методам знімань. На нашу думку, оптимальним є поєднання традиційних геодезичних методів вимірювань із супутниковими. Це підтверджує і поширення останнім часом так званих total station, які являють собою прилади, що поєднують можливості електронних тахеометрів та супутникових приймачів. Проте актуальним лишається питання, до якої межі можливе використання супутникових приймачів, а де потрібно переходити до традиційної методики. Для цього й було проведено дослідження явища впливу закритості небосхилу на точність визначення місцеположення об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можливості використання СРНС в умовах обмеженої видимості на сьогодні досліджено недостатньо. Окремі аспекти цього питання описано у працях [4, 5, 8, 11]. Так, у статті [4] запропоновано методику вибору місця встановлення GPS-приймачів з врахуванням розміщення інженерних споруд. У

дослідженні [11] проаналізовано можливість використання двочастотних GPS-приймачів у залісненій місцевості. Отримано результати точності GPS-нівелювання для віддалей 1 та 8 км при інтервалах реєстрації спостережень 5 і 15 с і тривалості сесій спостережень 5-12 хв. У праці [5] описано результати досліджень, проведених на Жовківському та Яворівському взірцевих базисах. Перший базис розташований на відкритій місцевості, а другий – у промзоні (його траса проходить уздовж одноповерхових складських приміщень, на відстані 3-4 м, і практично закрита рослинністю). Вимірювання виконувались з використанням статичної та швидкої статичної методик з тривалістю сесій спостережень до 1 год та реєстрацією сигналів через 30 с. Оцінку точності виконано за відхиленнями між еталонними і вимірними довжинами ліній. На відкритому (Жовківському) базисі абсолютні похибки не перевищують 4 мм при СКП порядку 2 мм. На базисі з перешкодами (Яворівському) проведено два цикли спостережень – ранньою весною (коли ще немає листя на деревах) та літом. Вони характеризуються СКП 2,8 та 6,4 мм відповідно. Тобто проходження сигналу крізь крону дерев з листям у кілька разів знизило точність вимірювань, а часткове обмеження поля огляду приймачів одноповерховими будівлями мало вплинуло на точність.

У праці [8] наведено деякі міркування щодо можливості використання супутникових методів у процесі будівництва. Зауважено, що у великих містах все частіше у ході будівництва споруди вписують в існуючу конфігурацію міської забудови, яка характеризується обмеженням видимості горизонту біля будмайданчика. Автор публікації пропонує використовувати GPS для передачі координат і висот на монтажні горизонти. Базові станції при цьому він рекомендує розміщувати або на якомога відкритішій території, або на дахах суцільних будівель. Наведено результати експерименту на точність вимірювань одночастотними приймачами з тривалістю сесій спостереження 30-60 хв. На підставі цього зроблено висновок про точність передачі координат з вихідного на монтажний горизонт порядку 20 мм, точність розмічувальних робіт (два приймачі на одному горизонті) – порядку 5 мм; відносна похибка визначення довжин ліній становить 1:20 000 при відстанях 100 м.

© О. Є. Янчук, 2010



У дослідженні [7] дається аналіз точності спостережень при розташуванні приймачів у різних умовах, а саме: базовий приймач розміщується на відкритій території, а роверний (на відстані 1 км) – на території з обмеженою видимістю: по чергово на північ, південь, схід та захід. Оброблення даних спостережень виконувалось 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 з супутників, розташованих на малих кутах висоти (0° та 5°).

Автор запропонованої читачеві статті виконав окреме дослідження при розташуванні роверного приймача у центрі території округлої форми, оточеній будівлею [9]. Експеримент виконано при куті відсікання в межах 35 - 65° з кроком 5° та довжинах базових ліній 1, 4 та 7 км. Крім того, проаналізовано точність визначення місцеположення при різних варіантах розташування роверного приймача всередині території квадратної форми, оточеній по периметру будівлею. В залежності від розміру даної території (забудованого квадрата) й висоти перешкод змінюється також конфігурація видимості небосхилу навколо приймача. Обчислення виконано у 25-ти точках розташування приймача всередині забудованого квадрата при 4-х варіантах розмірів його сторін – 100, 80, 60 та 40 м. За результатами дослідження можна зробити висновок про можливість використання даних супутникових спостережень на територіях з обмеженою до певної міри видимістю горизонту для визначення просторового місцеположення з точністю 1-3 см.

Узагальнюючи огляд літературних джерел, варто відмітити справді невелику кількість досліджень, спрямованих на визначення реальної точності вимірювань у несприятливих умовах. Зокрема, досі не знайдено відповіді на питання, яке обмеження видимості можна вважати задовільним для досягнення заданої точності, а при якому не варто взагалі виконувати спостереження.

Формулювання мети статті. У праці [10] запропоновано методику попереднього оцінювання можливості виконання GPS-спостережень при обмеженій видимості горизонту, а також їх орієнтовної точності на основі абрису перешкод. У даній статті розширено характеристики орієнтовної точності за умови закритості небосхилу з використанням результатів, отриманих у попередніх публікаціях.

Виклад основного матеріалу. Нагадаємо, у праці [10] запропоновано критерій, за допомогою якого можна оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень. Його названо коефіцієнтом закритості горизонту. Наше дослідження свідчить, що при закритості небосхилу на однакових за площею секторах кращий результат матимемо при меншому куті закриття горизонту. Тобто точність опрацювання базових ліній залежить передусім від кута висоти, на який закрита видимість. Тому для обчислення коефіцієнта закритості горизонту використано функцію, аргументом якої є кут ν .

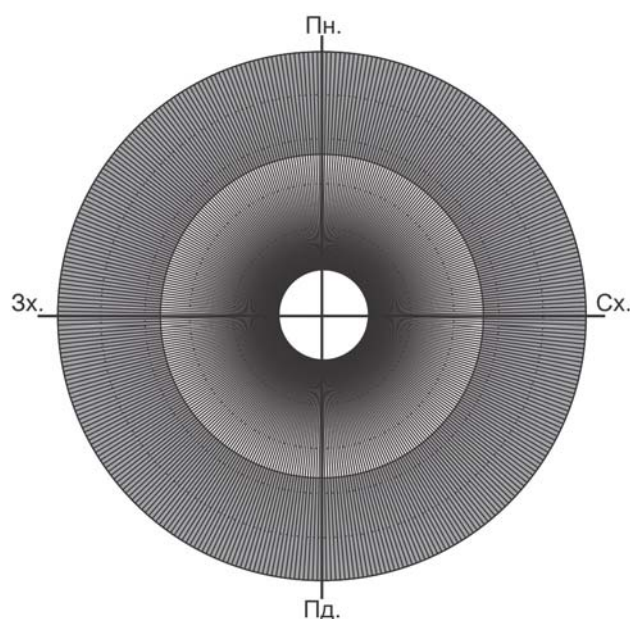
Цей коефіцієнт пропонується обчислювати на основі такого алгоритму: небесну сферу розділяємо на 360 секторів по 1° і кожному сектору присвоюємо вагу, яка залежить від кута висоти, на який закрито видимість.

Оскільки критерій закритості горизонту при більшому куті висоти сильніше впливає на точність визначення координат, то він має дати істотнішу похибку і відповідно мати більшу вагу впливу, ніж аналогічний за площею сектор з меншим кутом. Очевидно, що кут закритості горизонту в кожному секторі може варіювати в межах 0 - 90° . Для того щоб вага кожного сектора була у межах від 0 до 1, експериментально вибрано функціональну залежність для обчислення ваги впливу закритості сектора на точність вигляду синусоїдальної функції $\sin^3 \nu$. Відповідно запропоновано формулу для обчислення коефіцієнта закритості горизонту $k_{\text{закр}}$:

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

Аналізуючи цю формулу, варто зауважити, що запропонований коефіцієнт закритості горизонту – безрозмірна величина, яка може набувати значень у межах від 0 до 360. Для обчислення $k_{\text{закр}}$ необхідно мати лише абрис перешкод на станції. Проілюструємо обчислення запропонованого коефіцієнта на прикладі. За наведеною формулою знайдемо значення $k_{\text{закр}}$ для точки, що лежить у центрі території округлої форми, оточеній по периметру перешкодою певної висоти, яка закриває видимість на кут відсікання 35° (див. малюнок).

Як видно з малюнка, небесну сферу розділено на 360 секторів по 1° . Кут висоти, на який закрита видимість у кожному секторі, однаковий, і він



До ілюстрування методики обчислення коефіцієнта закритості горизонту



дорівнює 35° . Відповідно вага одного сектора буде рівною $\sin^3 35^\circ$. Оскільки в даному випадку ваги усіх секторів однакові, то коефіцієнт закритості горизонту становитиме: $k_{\text{закр}} = \sum_{i=1}^{360} \sin^3 35^\circ = 67,9$.

Залежно від значення $k_{\text{закр}}$, у статті [10] запропоновано поділ забудованої території, де передбачається розміщення роверного приймача, на умовні зони, які можна наділити такими характеристиками:

1. *Зона безперешкодного знімання* ($k_{\text{закр}} < 50$), куди відносяться множини точок, для яких кут закриття горизонту в межах до 31° , або споруди з висотою над горизонтом до 50° , які закривають азимутальні сектори до 90° .

2. *Зона незначного обмеження видимості* ($50 < k_{\text{закр}} < 100$). Сюди належать точки, для яких кут закриття у межах до 40° , або споруди з висотою над горизонтом до 70° , які закривають азимутальні сектори до 115° .

3. *Зона середнього обмеження видимості* ($100 < k_{\text{закр}} < 150$). До цієї зони входять множини точок, для яких кут закриття у межах до 48° , або споруди з висотою над горизонтом до 70° , які закривають азимутальні сектори до 175° .

4. *Зона значного обмеження видимості* ($150 < k_{\text{закр}} < 200$), куди відносяться множини точок, для яких кут закриття у межах до 55° , або споруди з висотою над горизонтом до 70° , які закривають азимутальні сектори до 235° .

5. *Зона екстремального обмеження видимості* ($200 < k_{\text{закр}} < 250$) – це множина точок, для яких кут закриття становить до 62° , або споруди з висотою над горизонтом до 70° , які закривають азимутальні сектори до 300° .

6. *Зона надекстремального обмеження видимості* ($k_{\text{закр}} > 250$). Сюди належать точки, для яких кут закриття більший за 62° .

Для кожної зони наведено (дані взято з попередніх досліджень) значення успішності опрацювання базових ліній та їх просторової, планової і висотної точності, які можна отримати. Під успішністю опрацювання базових ліній мається на увазі відсоток опрацьованих базових ліній, для яких стандартні характеристики оцінки точності (обчислені за програмою TGO) обмежувались такими даними: відношення (ratio) – більше 3-х, коефіцієнт дисперсії (reference variance) – мен-

ше 5-ти і СКП (Root Mean Square) – менше 0,02 м. Під точністю мається на увазі СКП положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової. Ці значення наведено окремо для сесій спостереження тривалістю 15, 30, 60 та 120 хв.

У цій статті проілюструємо орієнтовну точність (залежно від значення коефіцієнта закритості) такими показниками, як Circular Error Probable (CEP) та 95 %-ва довірна імовірність [12, 15]. Нагадаємо, що CEP, або кругова імовірна похибка, – це радіус кола, в яке потрапляє 50 % вимірів. Тобто показник CEP = 1 м слід читати так: 50 % вимірів потрапляє у коло радіусом 1 м, або імовірність того, що новий вимір потрапить у коло радіусом 1 м, дорівнює 50 %. Крім того, розширено варіанти тривалості сесій спостереження у бік їх скорочення. Результати досліджень наведено для тривалості сесій спостереження 2, 5, 10, 15, 30, 60 та 120 хв. Наслідок обчислень зведено у таблиці 1 та 2.

Значення добуто з результатів опрацювань понад 50 000 сесій спостережень з використанням програмного забезпечення Trimble Geomatics Office. В роботі використано такі параметри: модель тропосфери – Хопфілда; модель іоносфери – стандартна; ефемериди – бортові (передані); тип даних – кодові та фазові. В обчисленнях використано три вектори з приблизною довжиною 1, 4 та 7 км за умови, що базова станція розташовується на відкритій території (кут відсікання 15°).

Кожна базова лінія опрацьовувалась незалежно від інших. Значення наведено з врахуванням впливу лише обмеженої видимості горизонту. По-перше, тому що метою досліджень було оцінити вплив саме закритості горизонту, а по-друге, тому що інші похибки можуть певною мірою компенсуватися

Таблиця 1. Орієнтовні значення CEP точності опрацювання базової лінії завдовжки 1-7 км залежно від значення $k_{\text{закр}}$, мм

$k_{\text{закр}}$	Точність показника CEP, мм																							
	просторова								планова								висотна							
	Тривалість сесії спостереження, хв																							
	120	60	30	15	10	5	2	120	60	30	15	10	5	2	120	60	30	15	10	5	2			
<50	9	8	8	8	9	9	9	3	3	4	4	5	5	5	7	6	6	7	7	7	7			
50-100	8	8	8	8	9	10	11	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7	8			
101-150	8	8	9	9	9	11	12	3	3	4	4	5	6	6	6	6	7	7	8	8	10			
151-200	9	10	12	12	14	16	18	4	5	6	6	8	10	11	7	8	9	10	11	10	12			
201-250	11	13	15	16	16	20	24	6	7	8	8	10	12	14	9	10	11	13	13	15	17			
>250	17	19	28	24	27	25	69	9	11	15	11	14	14	44	13	15	17	22	22	20	53			

Таблиця 2. Орієнтовні значення 95 %-ї довірчої імовірності точності опрацювання базової лінії завдовжки 1-7 км залежно від значення $k_{\text{закр}}$, мм

$k_{\text{закр}}$	Точність показника 95 %-ї довірчої імовірності, мм																							
	просторова								планова								висотна							
	Тривалість сесії спостереження, хв																							
	120	60	30	15	10	5	2	120	60	30	15	10	5	2	120	60	30	15	10	5	2			
<50	13	13	16	17	17	22	20	9	11	11	11	12	14	14	13	12	13	16	15	19	20			
50-100	14	16	21	24	26	33	46	9	10	12	13	14	18	27	13	14	18	22	22	27	37			
101-150	16	20	23	29	37	47	132	10	11	12	14	20	30	86	14	19	21	26	34	42	87			
151-200	21	30	39	52	87	102	170	12	15	21	31	52	79	130	19	26	33	48	69	68	111			
201-250	31	41	45	67	86	137	215	17	23	26	38	55	90	161	28	35	36	53	68	99	171			
>250	68	83	197	337	478	372	225	41	49	125	226	337	263	161	56	67	153	250	339	263	158			



за рахунок методики спостережень, інструментальних удосконалень тощо. Наприклад, для відсіювання відбитих хвиль необхідно використовувати GPS-антени, чутливі до поляризації сигналу або обладнані спеціальними захисними дросельними кільцями. За належної конструкції антени вплив багатошляховості може бути зменшено до кількох міліметрів [2] або майже виключено [16]. Зокрема, компанія NovAtel оголосила про випуск нового покоління GPS-приймачів OEMV з технологією Vision Correlator™, яка дозволяє практично виключити багатошляховість навіть у найскладніших умовах [16]. Стабільність ексцентриситету фазового центра антени, яка також залежить від ступеня відбивання супутникових сигналів та впливу сторонніх шумів, враховують завдяки введенню поправок у вимірювання.

Для переконливості результатів, поданих у таблицях 1-2, наведемо кількість успішно опрацьованих сесій спостережень (табл. 3), за якими виконувалось обчислення значень СЕР та 95 %-ї довірчої імовірності. Відсоток успішно опрацьованих базових ліній відповідає імовірності того, що базова лінія буде опрацьована за наведених умов без виконання попереднього планування.

Таблиця 3. Успішність опрацювання базових ліній

k _{закр}	Кількість сесій спостережень:							Відсоток успішно опрацьованих базових ліній						
	всього _____, штук успішно опрацьовано													
	Тривалість сесії спостереження, хв													
	120	60	30	15	10	5	2	120	60	30	15	10	5	2
<50	$\frac{36}{36}$	$\frac{72}{72}$	$\frac{72}{71}$	$\frac{72}{71}$	$\frac{72}{69}$	$\frac{72}{66}$	$\frac{72}{66}$	100,0	100,0	98,6	98,6	95,8	91,7	91,7
50-100	$\frac{576}{572}$	$\frac{1152}{1070}$	$\frac{1152}{990}$	$\frac{1152}{932}$	$\frac{1008}{787}$	$\frac{1008}{773}$	$\frac{1008}{764}$	99,3	92,9	85,9	80,9	78,1	76,7	75,8
101-150	$\frac{468}{441}$	$\frac{936}{728}$	$\frac{936}{559}$	$\frac{936}{515}$	$\frac{864}{446}$	$\frac{864}{427}$	$\frac{864}{416}$	94,2	77,8	59,7	55,0	51,6	49,4	48,1
151-200	$\frac{540}{423}$	$\frac{1080}{525}$	$\frac{1080}{343}$	$\frac{1080}{234}$	$\frac{936}{205}$	$\frac{936}{191}$	$\frac{936}{180}$	78,3	48,6	31,8	21,7	21,9	20,4	19,2
201-250	$\frac{1332}{900}$	$\frac{2664}{1001}$	$\frac{2664}{649}$	$\frac{2664}{468}$	$\frac{2592}{410}$	$\frac{2592}{343}$	$\frac{2592}{315}$	67,6	37,6	24,4	17,6	15,8	13,2	12,2
>250	$\frac{900}{364}$	$\frac{1800}{241}$	$\frac{1800}{79}$	$\frac{1800}{46}$	$\frac{1728}{44}$	$\frac{1728}{30}$	$\frac{1728}{21}$	40,4	13,4	4,4	2,6	2,5	1,7	1,2

Значення СЕР та 95 %-ї довірчої імовірності при $k_{закр} < 50$ та > 250 не є абсолютно репрезентативними через малу кількість опрацьованих сесій спостережень. Для коефіцієнта $k_{закр} < 50$ дослідження виконано лише в одній точці зі значенням 31. Для $k_{закр} > 250$ дослідження виконано у 25-ти точках, але через низький відсоток успішно опрацьованих базових ліній (при тривалості сесії 30 хв – менше 5 %) також отримано недостатню кількість результатів для обґрунтованого аналізу.

Спираючись на отримані результати, висловимо такі рекомендації:

- при тривалості сесії спостереження 2 хв бажано брати дані досліджень лише на відкритій те-

риторії ($k_{закр} < 50$);

- при значенні коефіцієнта понад 150 можлива поява окремих грубих помилок визначення місцеположення, тому рекомендується виконувати додатковий контроль вимірювань;

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

Зазначимо, що, виходячи з використаних засобів опрацювання результатів GPS-спостережень, варто нагадати про деякі заходи, які дозволяють покращити характеристики, наведені в таблицях 1-3. Це насамперед проведення попереднього планування, використання точних ефемерид супутників, професійного програмного забезпечення (наукових програмних комплексів типу Bernese, GIPSY OASIS, GAMIT/GLOBK), об'єднання базових ліній у замкнуті геометричні фігури, використання декількох приймачів для одночасного спостереження.

Взявши до уваги Положення про земельно-кадастрову інвентаризацію земель населених пунктів [14] та Інструкцію з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-

2.04-02-98) [13], можемо стверджувати, що координування точок у містах республіканського та обласного підпорядкування для картографування їх територій у масштабі 1:500 та земельно-кадастрової інвентаризації земель населених пунктів можна виконувати при значенні коефіцієнта закритості горизонту навіть до 250. Але при значенні коефіцієнта понад 150 тривалість сесії повинна бути не меншою 15 хв та рекомендується виконувати додатковий контроль вимірювань для

виключення грубих помилок (наприклад, об'єднання векторів у замкнуті геометричні фігури з подальшим контролем замикання полігонів).

Крім того, отримані результати свідчать про можливість використання GPS-спостережень при розв'язанні інших важливих завдань, які можуть виконуватися в умовах частково обмеженої видимості горизонту та які потребують точності визначення місцеположення на рівні 1-3 см. Зокрема, для геодезичного забезпечення використання лісових і водних ресурсів, забезпечення геологогнімальних пошукових і розвідувальних потреб та експлуатації родовищ корисних копалин відкритим способом, шляхового будівництва тощо.



Висновки. На підставі проведених досліджень запропоновано критерій, за допомогою якого можна оцінити вплив закритості небосхилу на точність результатів спостережень. За цим критерієм можна також попередньо оцінювати можливості виконання та визначити орієнтовну точність проведення GPS-спостережень на основі абрису перешкод у пункті знімання. Така методика незамінна під час спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту для оцінювання придатності пункту до проведення супутникових спостережень та перевірки можливості досягнення необхідної точності.

Література

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. – В 2 т.: монография [Текст] / К.М. Антонович; ГОУ ВПО "Сибирская государственная геодезическая академия". – М.: ФГУП "Картгеоцентр", 2005. – Т. 1. – 334 с.
2. Глотов, В. Оцінка впливу багатопрохідності поширення GPS-сигналів на точність визначення координат об'єктів [Текст] / В. Глотов, К. Третьяк, О. Полець // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л.: Ліга-Прес, 2007. – № 1. – С. 103-108.
3. Гофманн-Велленгоф, Б. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): теорія і практика; пер. з англ. [Текст] / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз. – К.: Наук. думка, 1996. – 380 с.
4. Малярчук, С. Вибір місць закладання пунктів GPS-спостережень на території промайданчиків для розвитку мереж згущення [Текст] / С. Малярчук, П. Черняга, Р. Янчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л.: Ліга-Прес, 2000. – С. 196-200.
5. Тревого, І. Точність і ефективність вимірювання взірцевих базисів в сучасних умовах із застосуванням GPS [Текст] / І. Тревого, Я. Костецька // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л.: Ліга-Прес, 2000. – С. 169-174.
6. Третьяк, К.Р. До питання підготовки інструкції "Побудова геодезичних мереж методом GPS" [Текст] / К.Р.Третьяк, І.Б. Романишин: зб. наук. пр. V Міжнар. наук.-техн. симпоз. "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології". – Алушта, 2000. – С. 16-17.
7. Черняга, П.Г. Дослідження точності GPS-спостережень при закритих частинах горизонту [Текст] / П.Г. Черняга, О.Є. Янчук // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2009. – № 71. – С. 99-107.
8. Яндров, И.А. Возможности использования спутниковых методов в процессе строительства [Текст] / И.А. Яндров // Изв. вузов. Геодез. и аэрофотосъем. – М.: МИИГАиК. – 2007. – № 5. – С. 36-43.
9. Янчук, О.Є. Дослідження точності GPS-спостережень на забудованих територіях [Текст] / О.Є. Янчук // Вісн. НУВГП. – Рівне, 2009. – Вип. 4. – С. 298-305.
10. Янчук, О. Урахування закритості горизонту під час GPS-спостережень для земельно-кадастрової інвентаризації земель населених пунктів [Текст] / О. Янчук, П. Черняга, Ю. Голубінка // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л.: Ліга-Прес, 2010. – № 1. – С. 56-61.

Інтернет-джерела

11. Дронов, А.В. Исследование точности определения с помощью GPS высотных отметок в хвойном лесу [Текст] / А.В. Дронов, О.Н. Помогаев. – http://www.navgeocom.ru/projects/5700_forest/index.htm
12. Оцінка точності GPS-вимірювань з допомогою вивчення СEn. – <http://gis-lab.info/qa/cep.html>
13. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) (Нак. Гол. упр. геодез., картогр. та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 09.04.98 № 56). – <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0393-98>
14. Про затвердження Положення про земельно-кадастрову інвентаризацію земель населених пунктів (Нак. Держ. ком. України із земельних ресурсів від 26.08.1997 № 85). – <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0522-97>
15. Error Measures: 1 sigma, 2 sigma, 3 sigma, 50 % CEP, 2DRMS, 95 % confidence. What does this all mean?. – <http://gpsinformation.net/main/errors.htm>
16. NovAtel Inc. Announces Next-Generation OEMV Family of GPS Receivers with Vision Correlator™. – http://www.novatel.com/about_us/archive/20050914.htm

Надійшла 29.06.10