

А.Ю. Охрімчук, П.Г. Черняга*, О.Є. Янчук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

*Національний університет "Львівська політехніка"

ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ВЕКТОРІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ GPS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ОБМЕЖЕННЯ ВИДИМОСТІ НЕБОСХИЛУ

© Охрімчук А.Ю., Черняга П.Г., Янчук О.Є., 2011

Предложена методика вычисления коэффициента открытости горизонта, который характеризует ограничение видимости спутников препятствиями в пункте наблюдения с учетом продолжительности видимости спутника в определенном секторе небесной сферы в течение суток. Представлены функциональные зависимости для предварительной оценки точности GPS-наблюдений.

A method of calculating the coefficient of horizon openness which characterizes the limit of visibility interference in observation points with regard to duration of satellite visibility in a particular sector of the celestial sphere during the day is proposed. The functional dependence for estimating the accuracy of GPS-observations is presented.

Постановка проблеми. Питання оцінювання точності супутникових спостережень на етапі попереднього планування, безперечно, є актуальним. Найпоширенішим засобом такого оцінювання є рівняння регресії для визначення похибок спостережень залежно від певних параметрів. Як правило, фірми-виробники у таких рівняннях, оцінюючи точність визначень у плані та за висотою, враховують лише довжину вектора. Однак, важливим чинником, який впливає на точність вимірювань є тривалість сесії спостережень. На це, зокрема, звертається увага у працях [1, 4, 5, 6]. Також не слід нехтувати тим, що на точність супутникових вимірювань впливає наявність перешкод для проходження сигналів від супутників. Адже у виробничих умовах супутникові спостереження часто доводиться виконувати на територіях із наявною забудовою та деревною рослинністю. Тому вважаємо актуальним запропонувати рівняння регресії для попереднього оцінювання точності GPS-спостережень з врахуванням обмеження видимості небосхилу навколо пункту спостереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми. У роботах [9, 10] запропоновано методику попереднього оцінювання точності GPS-спостережень при обмеженій видимості горизонту. У праці [10] запропоновано критерій, названий коефіцієнтом закритості горизонту $K_{\text{закр}}$, за допомогою якого можна оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень. Залежно від значення $K_{\text{закр}}$ запропоновано поділ території, де передбачається розміщення роверного приймача на 6 умовних зон придатності до виконання спостережень. Відповідно до запропонованого поділу для кожної зони наведено значення ймовірності успішного опрацювання векторів і середньоквадратичних похибок просторового, планового та висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової, які можна отримати. Під ймовірністю успішного опрацювання базової лінії розуміють ймовірність того, що при виконанні спостережень без попереднього планування, базова лінія буде опрацьована із задовільними характеристиками оцінки точності, обчисленими програмою опрацювання спостережень. У публікації [9] збільшено кількість сесій спостережень, використаних у дослідженні та проілюстровано орієнтовну точність (залежно від значення коефіцієнта закритості) такими показниками, як 50 % та 95 % довірча ймовірність. Недоліком запропонованого коефіцієнта закритості є те, що він не враховує нерівномірності розміщення супутників на небосхилі.

Постановка завдання. У статті запропоновано критерій обмеження видимості горизонту, який враховує тривалість видимості супутника у певному секторі небесної сфери протягом доби. Грунтуючись на цьому, розраховано функціональні залежності ймовірності та точності визначення базових ліній від тривалості сесії спостереження та пропонованого коефіцієнта, який характеризує обмеження видимості супутників перешкодами з врахуванням їх розташування за азимутом.

Виклад основного матеріалу. Оцінюється можливість виконання спостережень та точність просторових визначень в умовах обмеженої видимості горизонту з використанням лише системи GPS. З web-сторінки SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) [11] було запозичено файли добових спостережень на перманентні станції, які знаходяться на широті 46° , що відповідає широті півдня України. Спостереження на них виконуються двочастотними приймачами з дискретністю 15 секунд, кут відсікання при реєстрації спостережень становить 0° . З цієї ж web-сторінки одержано геоцентричні координати згаданих станцій, за якими обчислено прирости координат векторів, використані як еталонні значення для порівняння зі значеннями, обчисленими у дослідженні.

Суть дослідження полягає в аналізі точності визначення приростів координат базової лінії за різних конфігурацій закриття видимості горизонту. При цьому з файла добових спостережень формату RINEX усувались спостереження від супутників, видимість на які вважалась закритою змодельованими перешкодами.

Опрацьовували результати спостережень з використанням програмного забезпечення Trimble Geomatics Office. Для опрацювання базових ліній використовували такі параметри: модель тропосфери – Хопфілд; модель іоносфери – стандартна; ефемериди – бортові (передані); тип даних – кодові та фазові. Кожну базову лінію опрацьовували незалежно від інших.

На першому етапі визначали ймовірність визначення базової лінії як відношення кількості успішно одержаних рішень до загальної кількості сесій спостережень. Рішення вважали успішним, якщо базову лінію було опрацьовано і стандартні характеристики оцінки точності (обчислені програмою TGO) знаходились у таких межах: відношення (ratio) понад 3, коефіцієнт дисперсії (reference variance) менший за 5 та середньоквадратична похибка (Root Mean Square) менша за 0,02 м. Якщо хоча б однієї із перерахованих умов не дотримувалися, то вважалось, що рішення недостатньо точне, і отримане значення не використовували у подальших обчисленнях.

На наступному етапі для перевірки точності отриманих рішень порівнювали одержані розв'язки приростів з еталонними значеннями (обчисленими за геоцентричними координатами, запозиченими з сайту SOPAC). Обчислювали середньоквадратичні похибки просторового, планового та висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової. Отримані в результаті дослідження похибки ілюструють вплив лише зменшення зони радіовидимості супутників на точність спостережень.

Для дослідження використано результати, отримані у попередніх публікаціях [7, 8]. Наразі використано лише сесії спостереження тривалістю 0,5–2 год, оскільки в умовах обмеженої видимості, при коротшій тривалості сесій, ймовірність успішного опрацювання вектора є низькою. З тієї ж причини не враховано результати досліджень за значного обмеження видимості. Також використано лише дослідження для векторів завдовжки 4 та 7 км, оскільки на цьому етапі не враховується диференціація в довжині базових ліній. Тому для розрахунків використано такі результати:

1. Змодельовано ситуацію, коли базова станція знаходиться на відкритій території (кут відсікання 15°), а роверна – у центрі території, навколо якої розташовано перешкоду певної висоти [8]. Тобто, фактично така модель відповідає умові встановлення певного кута відсікання на приймачі. Кут закритості горизонту під час опрацювання змінювався в межах від 35° до 45° з кроком 5° (рис. 1). Опрацьовували результати спостережень у програмі Trimble Geomatics Office інтервалами сесій спостережень 30, 60 та 120 хв (обиралися рівномірно з файла добових спостережень на початку кожної години, за винятком сесій тривалістю 120 хв, які обирали через кожні дві години). В опрацюванні використано два вектори з приблизною довжиною 4 та 7 км. Ймовірність виконання спостережень та їх СКП обчислювали на основі методики, наведеної вище.

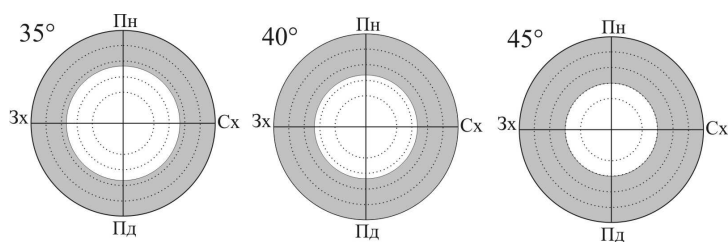


Рис. 1. Абриси перешкод при моделюванні довкола роверного приймача перешкоди певної висоти

2. Змодельовано різноманітні конфігурації закриття горизонту за різними варіантами розташування роверного приймача в межах території квадратної форми, оточений за периметром перешкодою певної висоти [7]. Для обчислень умовно вважалось, що перешкодою є 10-поверхова будівля. З розрахунку, що висота одного поверху 3 м, а висота антени приймача – 1 м, складено абрис перешкод у кожній з 12 обраних точок за умови, що розмір сторони перешкоди – 100 та 80 м. Варто зауважити, що висоту та розміри сторони перешкоди прийнято умовно для складання абрисів. Аналогічні абриси матимемо при висоті перешкоди 15 м (5-поверхова будівля) та розмірах сторін – 50 та 40 м. Абриси перешкод для обраних варіантів розташування приймача показано на рис. 2 (для двох варіацій розмірів сторони перешкоди).

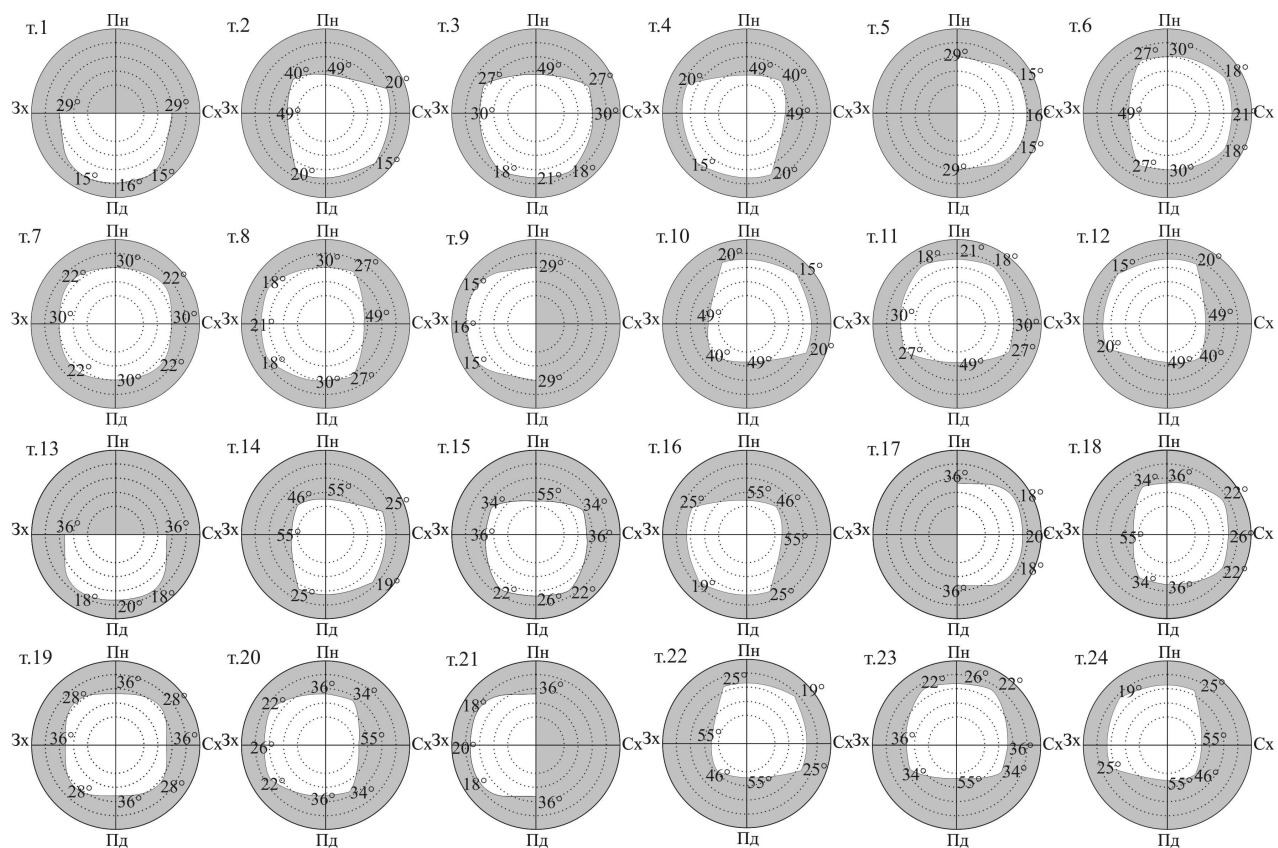


Рис. 2. Абриси перешкод для обраних варіантів розташування приймача в межах території, оточеної за периметром перешкодою певної висоти

Для врахування обмеження видимості необхідно встановити критерій, за яким можливо оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень. Очевидно, що параметр GDOP дає змогу обрати момент найкращої геометричної конфігурації супутників у пункті спостереження із урахуванням навколишніх перешкод. Однак протягом сесії спостереження його значення може значно змінюватися, а конфігурація перешкод навколо приймача зберігається постійною. Якщо розрахувати значення DOP за

розташування супутників у крайніх точках зони видимості на небосхилі, то таке значення може спостерігатися лише в певний момент, а після зміни положення супутників – погіршуватися. Або супутники взагалі можуть не набути такої конфігурації під час виконання спостережень.

Тому представимо методику попереднього оцінювання ймовірності та точності визначення місцеположення у пункті спостереження, не прив'язуючись до конкретного часу вимірювань, що може бути корисно на етапі вибору місцерозташування пунктів.

Для врахування тривалості видимості супутника у певному секторі небесної сфери протягом доби необхідно встановити вагу тривалості перебування супутників у i -му секторі $p_{трив}^i$, яку пропонуємо обчислити за формулою:

$$p_{трив}^i = \frac{T_{сект}^i}{T_{макс}}, \quad (1)$$

де $p_{трив}^i$ – вага тривалості перебування супутників у i -му секторі; $T_{сект}^i$ – тривалість перебування супутників в i -му секторі, хв/добу; $T_{макс}$ – максимальне значення тривалості перебування супутників у одному зі всіх секторів, хв/добу.

Наступним кроком необхідно врахувати закритість видимості супутників перешкодою у кожному секторі. Закритість горизонту в i -му секторі можна подати кутом висоти v_i , на який закритий небосхил перешкодами. Так само можна характеризувати відкритість горизонту за допомогою зенітної відстані $Z_i = 90^\circ - v_i$. Чим більше значення Z_i , тим краще для спостережень. Остаточну вагу відкритості горизонту в кожному секторі $p_{відкр}^i$ подамо функцією від ваги тривалості перебування супутників у секторі та зенітної відстані. За емпіричного підбору функції ми зупинилися на такій формулі:

$$p_{відкр}^i = p_{трив}^i \cdot \sin Z_i. \quad (2)$$

Формула (2) характеризує вагу відкритості сектора і логічно представляє залежність так: якщо $Z_i = 0^\circ$ ($v_i = 90^\circ$) і весь горизонт закритий, то $p_{відкр}^i$ теж дорівнює 0. А при $Z_i = 90^\circ$ ($v_i = 0^\circ$) маємо повністю відкритий горизонт, і тоді $p_{відкр}^i = 1$ (за умови найтривалішого перебування супутників у даному секторі).

Для подальших досліджень нами введено коефіцієнт відкритості горизонту $k_{відкр}$, який можна обчислити за формулою:

$$k_{відкр} = \sum_{i=1}^n p_{відкр}^i = \sum_{i=1}^n (p_{трив}^i \cdot \sin Z_i), \quad (3)$$

де $i = \overline{1, n}$, n – кількість секторів, на які розділено небосхил.

На основі формули (3) обчислено значення коефіцієнта відкритості горизонту для досліджуваних 27 точок (рис. 1–2). Розмір сектора прийнято 10° . Мінімальне можливе значення коефіцієнта відкритості за таких умов становить 0 при $Z = 0^\circ$, а максимальне – 13,39 при $Z = 90^\circ$. Оскільки при спостереженнях не рекомендується використовувати сигнали від супутників на висоті, меншій, ніж 10° , то максимальне “корисне” значення коефіцієнта відкритості становить 13,19 при $Z = 80^\circ$. За абрисами перешкод визначено середню зенітну відстань відкритості горизонту для кожного сектора. Для 27 досліджуваних точок обчислені значення коефіцієнта відкритості знаходяться у межах від 5,86 до 12,05. Зауважимо, що значення ваги тривалості перебування супутників у певному секторі небесної сфери залежить від місцерозташування пункту спостережень.

На підставі результатів досліджень обчислено статистичну оцінку коефіцієнта кореляції між запропонованим коефіцієнтом відкритості горизонту та ймовірністю і точністю визначення базової лінії (таблиця). Обчислення виконано без диференціації за довжинами базових ліній.

Оцінка коефіцієнта кореляції r^* знаходиться (за абсолютним значенням) у межах від 0,56 до 0,92, при $r_{\min} = 0,36$ та оцінці середнього квадратичного відхилення коефіцієнта кореляції σ_r в межах 0,02–0,09. Як відомо [2], кореляційний зв'язок вважається встановленим при виконанні нерівностей:

$$\begin{aligned} |r^*| &> 3 \cdot \sigma_r; \\ |r^*| &> r_{\min}. \end{aligned} \quad (4)$$

Враховуючи, що умова (4) виконується, можемо стверджувати про наявність кореляційного зв'язку між коефіцієнтом відкритості горизонту та ймовірністю і точністю визначення складових вектора.

Аналізуючи одержані значення коефіцієнта кореляції, зазначимо, що залежність між коефіцієнтом відкритості та ймовірністю визначення базової лінії є прямо пропорційною, оскільки чим більше значення $k_{відкр}$ (тобто менше перешкод для спостережень), тим кращі умови спостереження, а отже, більша ймовірність успішного опрацювання базової лінії. Відповідно залежність між коефіцієнтом відкритості та величиною похибок визначення складових векторів є обернено пропорційною, адже чим більше значення $k_{відкр}$, тим кращі умови спостереження, а отже, менше величини СКП, що є цілком логічним та очікуваним. Що стосується зміни величини коефіцієнта кореляції із зміною тривалості сесії спостереження, можна зазначити, що для залежності між $k_{відкр}$ та ймовірністю визначення базової лінії його значення зростає із скороченням тривалості сесії спостереження. Це може означати, що при коротшій тривалості сесії спостереження вплив відкритості видимості горизонту зростає. Для залежності між $k_{відкр}$ та величиною похибок визначення складових векторів зміна величини коефіцієнта кореляції із зміною тривалості сесії спостереження є не такою однозначною, що пояснюється наявністю впливу на точність спостережень багатьох інших факторів, крім обмеження видимості.

Статистична оцінка коефіцієнта кореляції між коефіцієнтом відкритості горизонту та ймовірністю і точністю визначення місцезнаходження кінцевої точки базової лінії відносно початкової

Тривалість сесії спостереження, хв	Оцінка коефіцієнта кореляції між $k_{відкр}$			
	та ймовірністю визначення базової лінії	та СКП просторового положення	та СКП планового положення	та СКП висотного положення
120	0,84	-0,85	-0,56	-0,81
60	0,90	-0,76	-0,57	-0,72
30	0,92	-0,78	-0,69	-0,67

За результатами проведених досліджень побудовано графіки залежностей ймовірності визначення базових ліній і СКП просторового, планового та висотного положення від значень коефіцієнта відкритості горизонту за різної тривалості спостережень (рис. 3, 4). За результатами аналізу встановлено, що залежність ймовірності визначення базової лінії від коефіцієнта відкритості горизонту $k_{відкр}$ та тривалості вимірювань найкраще описує функція:

$$p_{визнач} = a + b \cdot t + c \cdot k_{відкр} + d \cdot t \cdot k_{відкр}, \quad (5)$$

де $p_{визнач}$ – ймовірність визначення базової лінії, %; a, b, c, d – постійні невідомі коефіцієнти; t – тривалість спостережень, год.

У результаті аналізу СКП просторового, планового та висотного положення встановлено, що їх залежність від коефіцієнта відкритості горизонту та тривалості вимірювань найкраще описує функція виду:

$$m = a + b \cdot t + c \cdot k_{відкр} + d \cdot t \cdot k_{відкр}, \quad (6)$$

де m – СКП місцезнаходження кінцевої точки базової лінії відносно початкової, мм; a, b, c, d – постійні невідомі коефіцієнти; t – тривалість спостережень, год.

За результатами вимірів було складено 54 рівняння виду (5) та (6) для кожної досліджуваної залежності (27 досліджуваних конфігурацій закриття видимості при двох варіаціях довжин векторів). Розв'язавши систему рівнянь за умовою способу найменших квадратів, отримано такі рівняння регресії для обчислення ймовірності визначення базової лінії $p_{визнач}$ та СКП просторового $m_{прост}$, планового $m_{план}$ та висотного $m_{вис}$ положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової:

$$p_{визнач} = (-32,52 \pm 5,44) + (47,09 \pm 4,11) \cdot t + (10,59 \pm 0,55) \cdot k_{відкр} - (3,56 \pm 0,41) \cdot t \cdot k_{відкр}, \quad (7)$$

$$m_{прост} = (35,62 \pm 2,27) - (5,33 \pm 1,72) \cdot t - (2,09 \pm 0,23) \cdot k_{відкр} + (0,33 \pm 0,17) \cdot t \cdot k_{відкр}, \quad (8)$$

$$m_{план} = (23,85 \pm 2,07) - (5,94 \pm 1,57) \cdot t - (1,49 \pm 0,21) \cdot k_{відкр} + (0,46 \pm 0,16) \cdot t \cdot k_{відкр}, \quad (9)$$

$$m_{вис} = (25,39 \pm 2,27) - (1,55 \pm 1,71) \cdot t - (1,41 \pm 0,23) \cdot k_{відкр} - (0,004 \pm 0,17) \cdot t \cdot k_{відкр}. \quad (10)$$

У рівнянні (10), величини коефіцієнтів b та d знаходяться в границях точності їх визначення, тому використаємо новий тип представлення СКП висотного положення:

$$m_{вис} = a + b \cdot t + c \cdot k_{відкр} \quad (11)$$

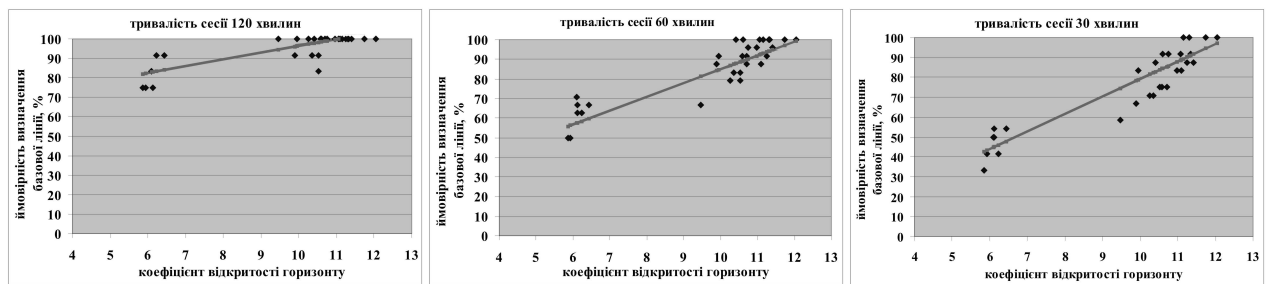
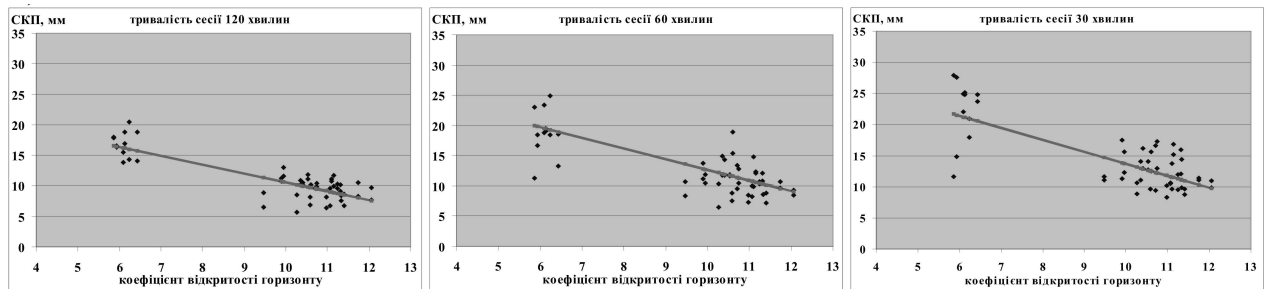
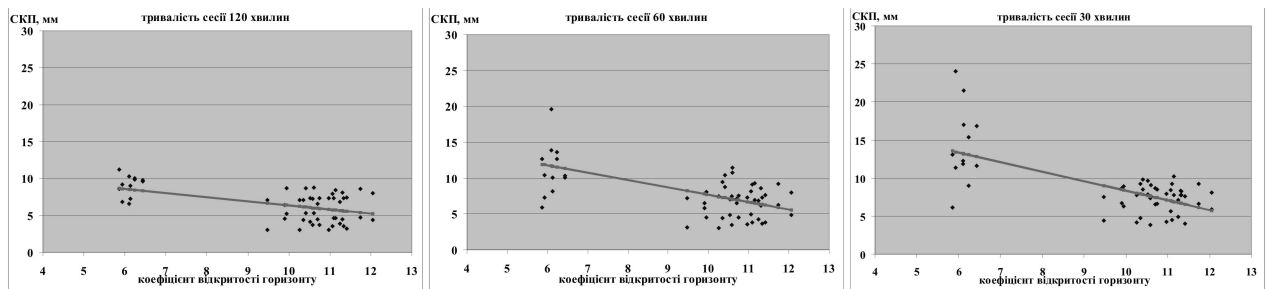


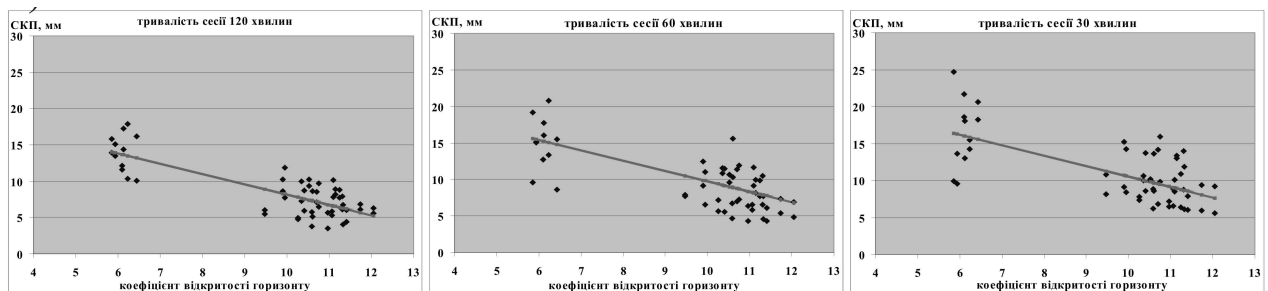
Рис. 3. Залежність ймовірності визначення базових ліній від значень коефіцієнта відкритості горизонту за різної тривалості спостережень



а



б



в

Рис. 4. Залежність СКП положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової від значень коефіцієнта відкритості горизонту за різної тривалості спостережень:

а – просторове положення; б – планове положення; в – висотне положення

У результаті обчислень одержуємо рівняння регресії виду:

$$m_{\text{вис}} = (25,43 \pm 1,14) - (1,59 \pm 0,35) \cdot t - (1,41 \pm 0,11) \cdot k_{\text{відкр}}. \quad (12)$$

Наведені рівняння (7)-(9) і (12) одержано для тривалості сесій спостереження від 0,5 до 2 годин, довжин базових ліній від 4 до 7 км та $k_{\text{відкр}}$ від 5,86 до 12,05. Точність апроксимації становить 6,6 % для виразу (7), 2,7 мм для виразу (8), 2,5 мм для виразу (9) та 2,7 мм для виразу (12). Аналізуючи одержані значення коефіцієнтів, можна зазначити, що вони відповідають прийнятій

концепції впливу факторів. Тобто від’ємні значення коефіцієнтів у рівняннях (8), (9) та (12) біля змінних t та $k_{відкр}$ означають, що із збільшенням тривалості спостереження та меншої кількості перешкод (значення $k_{відкр}$ збільшується) значення похибок зменшуватимуться. У рівняння (7) коефіцієнти біля змінних t та $k_{відкр}$ додатні, тобто із зростанням тривалості спостереження та за меншої кількості перешкод ймовірність того, що вектор буде опрацьовано, зростає.

Одержані рівняння регресії можуть використовуватися на етапі проектування GPS-вимірювань при виборі місцезнаходження пункту спостережень залежно від величини відкритої частини небосхилу. Ймовірність визначення базової лінії гарантує, що у разі виконання спостережень у довільний час (без попереднього планування) базову лінію буде опрацьовано. СКП характеризують точність визначення просторового, планового та висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової за умови опрацювання вектора та з врахуванням впливу лише фізичного обмеження радіовидимості супутників.

Для уточнення коефіцієнтів запропонованих рівнянь бажано провести додаткові дослідження на інших векторах, при більших діапазонах тривалостей сесій спостережень та довжинах векторів. Зауважимо, що під час вимірювань у реальних умовах будуть накопичуватися й інші похибки, які потрібно оцінювати додатково. Тобто, якщо з використанням представлених залежностей одержано значення СКП, які не задовольняють точності вимірювань, необхідно використовувати традиційні наземні технології або комбінувати їх з супутниковими. У випадку, якщо похибки, визначені за наведеними залежностями, відповідають заданій точності вимірювань, необхідно додатково оцінити вплив інших похибок на результати спостережень. Наприклад, наскільки використовувані прилади захищені від впливу багатопроменності при спостереженнях неподалік відбиваючих поверхонь, який спосіб центрування приладу використовується, як визначається висота антени тощо.

Запропонований порядок визначення придатності пункту до GPS-спостережень з необхідною точністю можна подати схемою (рис. 5).



Рис. 5. Модель IDEF0 визначення придатності пункту до GPS-спостережень

Для перевірки надійності одержаних виразів порівняємо їх із відомими формулами залежності точності вимірювань від довжини вектора та тривалості спостережень.

Значний обсяг досліджень у цьому напрямі виконано під керівництвом проф. К.Р. Третьяка [3, 5, 6]. Зокрема, на підставі експериментальних вимірів встановлено залежність точності вимірювання вертикальних складових векторів від їх довжини L (у межах від 2–10 км) та тривалості спостережень t (у межах від 10 хв до 2 год) на відкритій території [5, 6], а саме:

$$m_{\Delta h} = (2,59 \pm 0,34) \cdot L - (0,50 \pm 0,37) \cdot L \cdot t. \quad (13)$$

За виразом (13) обчислено СКП вимірювання вертикальної складової вектора завдовжки 4–7 км за тривалості вимірювань 2 год на відкритій території (мінімальний кут висоти супутників 15°). Одержано значення 6 ± 4 мм для вектора завдовжки 4 км та 11 ± 7 мм – для вектора завдовжки 7 км. За виразом (12) одержано 4 ± 3 мм. Провівши такі обчислення за тривалості спостережень 0,5 год, одержуємо за формулою (13) відповідно 9 ± 2 мм для вектора завдовжки 4 км та 16 ± 4 мм для вектора завдовжки 7 км, а за рівнянням (12) – 6 ± 3 мм.

У роботі [3] наведено експериментально одержані залежності точності вимірних перевищень від мінімальної висоти супутників над горизонтом α (у межах 5°–25°, з кроком 5°), тривалості спостережень t (0,1–10 год) та довжини вектора L (1–10 км):

$$m_{\Delta h} = [(-0,0025 \times L_{(км)} + 0,0146) \times t_{(год)} + 0,15] \times \alpha_{(град)} + 5_{(мм)}, \quad (14)$$

$$m_{\Delta h} = [(0,00086 \times L_{(км)} - 0,0246) \times t_{(год)} + 0,44] \times \alpha_{(град)} + 5_{(мм)} \quad (15)$$

Залежність (14), одержана раніше, не враховувала результати вимірів, виконаних при мінімальному куті висоти супутників 5°, вертикальної складової ексцентриситету фазових центрів антен і ваг вимірів.

За виразом (14) обчислено СКП вимірювання вертикальної складової вектора завдовжки 4–7 км за тривалості вимірювань 2 год з мінімальним кутом висоти супутників 25°. Одержано значення 9 мм. За виразом (12) одержимо 5 ± 3 мм. Провівши такі обчислення за тривалості спостережень 0,5 год, одержуємо за формулою (14) 9 мм, а за виразом (12) – 8 ± 3 мм. Тобто одержані значення практично збігаються у межах точності визначення. За формулою (15) похибки визначення вертикальної складової становлять 15 та 16 мм при сесіях тривалістю 2 та 0,5 год відповідно. Вони дещо відрізняються від обчислених за формулою (12).

Отже, після порівняння одержаних нами залежностей з відомими можна зробити висновок, що загалом результати розрахунків збігаються у межах точності наведених виразів, з деяким завищенням результатів за формулою (12). Це можна пояснити тим, що у наведених залежностях враховується тільки закритість небосхилу перешкодами без врахування інших похибок, тоді як формули (13)–(15) одержано на підставі експериментальних досліджень. Крім того, обчислення за формулою (12) виконувались без врахування відмінності у розташуванні супутників за секторами.

Висновки. Запропонована методика дає змогу оцінити попередню точність виконання GPS-спостережень у пункті вимірювань на основі даних про наявні перешкоди. Наведені залежності одержано для тривалості сесій спостереження 0,5–2 години, векторів завдовжки 4–7 км, значення коефіцієнта відкритості 5,86–12,05, для пунктів, розташованих на широті 46° та з врахуванням впливу лише обмеження видимості горизонту. У подальшому видається доцільним детально апробувати одержані залежності на практиці, розширити досліджувані довжини векторів, тривалості сесій спостереження та встановити залежність для приймачів, здатних одночасно працювати із системами GPS та ГЛОНАСС.

1. Баран П. І. Визначення тривалості GPS-спостережень в геодезичних мережах / П. І. Баран, В. Я. Чорнокін // Вісник геодезії та картографії. – 2004. – № 2. – С. 12–15. 2. Большаков В. Д. Теория математической обработки геодезических измерений / В. Д. Большаков, П. А. Гайдаев. – М.: Недра, 1977. – 367 с. 3. Грицюк Т. Ю. До питання оцінки точності вимірювання перевищень методом GPS / Т. Ю. Грицюк, К. Р. Третяк // Геодезія, картографія та аерофотознімання: міжвід. наук.-техн. зб. – Л., 2007. – № 69. – С. 78–82. 4. Костецька Я. До питання тривалості GPS-спостережень залежно від довжини вектора-бази / Я. Костецька, І. Торопа, О. Фок // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2005. – Вип. II. – С. 60–65. 5. Третяк К. Р. До питання тривалості GPS-вимірів при побудові державних мереж 1-го та 2-го класів / К. Р. Третяк, Т. М. Шушкова // Геодезія, картографія та аерофотознімання: міжвід. наук.-техн. зб. – Л., 2001. – № 61. – С. 124–132. 6. Третяк К. Р. Оптимізація кінематичних геодезичних мереж: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.24.01 “Геодезія” / К. Р. Третяк. – Л., 2004. – 36 с. 7. Янчук О. Є. Дослідження точності GPS-спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту / О. Є. Янчук // Інженерна геодезія: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2010. – Вип. 55. – С. 224–235. 8. Янчук О. Є. Дослідження точності GPS-спостережень на забудованих територіях / О. Є. Янчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. пр. – Рівне,

2009. – Вип. 4 (48). – С. 300–307. 9. Янчук О. Є. Попереднє оцінювання впливу обмеженої видимості горизонту на точність GPS-спостережень / О. Є. Янчук // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – № 4. – С. 3–7. 10. Янчук О. Урахування закритості горизонту під час GPS-спостережень для земельно-кадастрової інвентаризації земель населених пунктів / О. Янчук, П. Черняга, Ю. Голубінка // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2010. – Вип. 1(19). – С. 56–61. 11. Scripps Orbit and Permanent Array Center [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sopac.ucsd.edu/>