

УДК 528.4

Шульц Р.В.
Медведський Ю.В.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ GPS-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ СТВОРЕННІ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ОСНОВИ НА МОНТАЖНОМУ ГОРИЗОНТІ ДЛЯ ПОТРЕБ ВИСОТНОГО БУДІВНИЦТВА

Постановка проблеми. Висотне будівництво є найбільш сучасним і прогресивним напрямом будівельної галузі. Останні відомі проекти висотних споруд мають проектні висоти, що перевищують 600 метрів. Забезпечення проектних розмірів споруди на такій висоті є дуже складним завданням інженерної геодезії. До теперішнього часу найбільш точним та надійним методом передачі проектних координат на монтажний горизонт є метод вертикального проектування. Недоліком методу вертикального проектування є накопичення похибок при послідовній передачі координат з одного монтажного горизонту, тобто точність передачі залежить від висоти споруди. Альтернативою існуючому методу можна вважати використання GPS-технологій. Точність визначення координат в цьому випадку не залежить від висоти споруди. Але застосування супутникових методів визначення координат вимагає врахування багатьох інших факторів, які впливають на точність визначення координат.

Огляд останніх публікацій. Питанню дослідження можливостей використання GPS-технологій для вирішення задач інженерної геодезії присвячено величезну кількість робіт, в першу чергу закордонних авторів. Здебільшого ці роботи стосуються питань використання GPS для виконання розмічувальних робіт та спостереження за деформаціями крупних інженерних споруд. В цих роботах отримані достатньо надійні результати щодо точності отриманих даних в залежності від умов спостережень та розроблені відповідні методики для досягнення необхідної точності. Найбільш детальний огляд інженерних задач для вирішення яких застосовують GPS можна знайти в роботах [1-5] та у періодичних іноземних виданнях GPS Solutions та GPS World.

Постановка завдання. Мета даної роботи, аналіз основних факторів, які необхідно врахувати при використанні GPS-технологій при створенні геодезичної основи на монтажному горизонті для потреб висотного будівництва.

Виклад основного матеріалу. Зазвичай координати за допомогою GPS визначаються за спостереженнями фази несучої в диференційному режимі (DGPS). При використанні диференційного режиму навколо споруди, що будується, розвивається зовнішня опорна геодезична мережа. Пункти

зовнішньої мережі закріплюють в ґрунті, за умови будівництва на відкритому будівельному майданчику, або на дахах сусідніх будівель, при будівництві в умовах щільної міської забудови. Щоб одержати субсантиметрову точність, необхідно дотримуватись певних умов при проектуванні зовнішньої мережі та плануванні спостережень на пунктах цієї мережі. Розробка проекту та планування спостережень вимагає аналізу місцезнаходження опорних точок, що вибрані для базових станцій. Це питання аналізу видимості GPS супутників і їх геометричної конфігурації:

- ✓ базові приймачі необхідно розміщувати на стійкій основі, вібрації від будівельної техніки можуть призвести до помилок у визначенні місцеположення;
- ✓ базові приймачі необхідно точно центрувати над опорними точками, а за можливості, встановлювати системи примусового центрування;
- ✓ пункти розташовують таким чином, щоб забезпечити тривале слідкування за мінімуму 8-ма супутниками з мінімальним кутом місця 15° над горизонтом.

Схема найпростіших диференційних спостережень представлена на Рис. 1

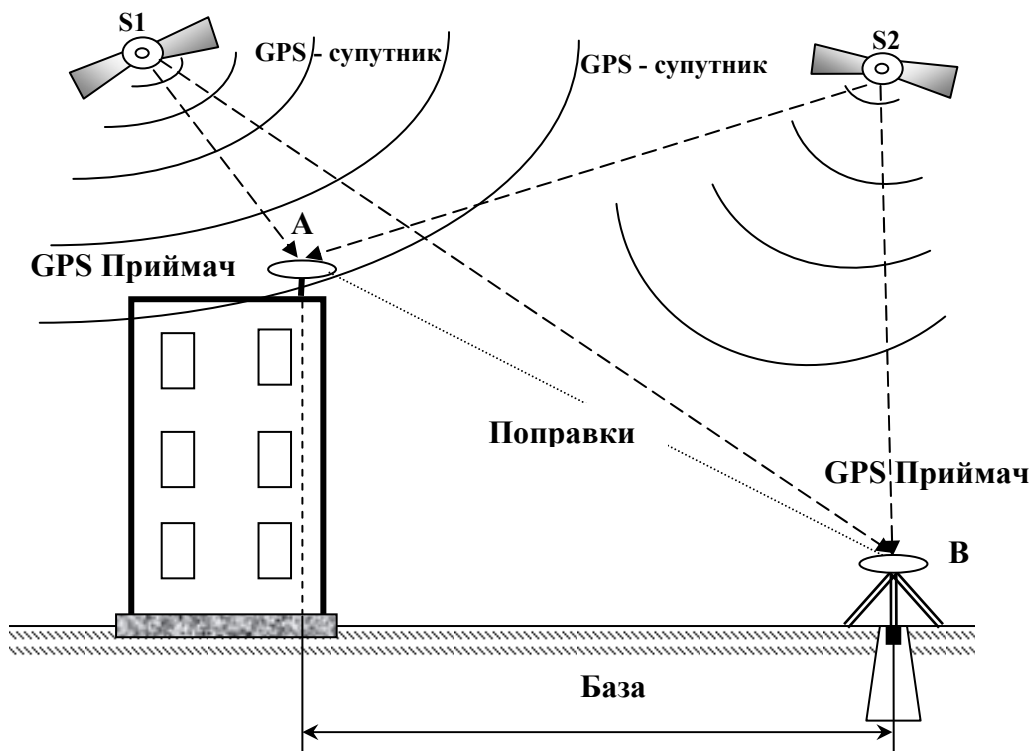


Рис. 1. Схема диференційних супутникових спостережень

Окрім відомих факторів впливу на точність визначення координат GPS-приймачем (іоносферна, тропосферна рефракція, похибки ефемерид супутників та ін.) великий вплив на точність визначення координат має геометричний фактор, який визначає геометрію супутників відносно приймача. Оскільки значна частина будівельних робіт проводиться на забудованій території

виникають обмеження на видимість супутників з точки спостереження. Окрім несприятливої геометрії супутників на точність спостережень впливають похибки визначення координат опорного пункту через обчислення приростів координат та диференційних поправок.

Проте в більшості робіт геометричний фактор досліджується при умові відсутності перешкод і без суттєвих обмежень, а до точності вихідних даних не висуваються окремі вимоги.

При умові однакової точності вимірювання псевдовідстаней ρ_i і незалежності похибок використовують вираз (1) з [9]:

$$GDOP = \frac{\sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2}}{\sigma} \quad (1)$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – СКП оцінених координат користувача; σ_t – похибка відхилення годинника приймача.

За умови малих похибок X, Y, Z, T СКП місцеположення має наступний вигляд $\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2 + \sigma_t^2 = \text{tr}[\text{Cov}(x)]$, де $\text{Cov}(x) = (G^T G)^{-1} \sigma^2$. Отже $GDOP = \sqrt{\text{tr}(G^T G)^{-1}}$.

Обчислення координат виконується тільки за спостереженнями фази несучої. При цьому вважають, що величина фазової невизначеності визначена одним з багатьох відомих методів. Тоді матриця коефіцієнтів рівнянь поправок наприклад для 4-х супутників буде мати такий вигляд [7]:

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

При цьому значення коефіцієнтів рівнянь будуть:

$$g_{i1} = -\frac{(X^i - X_A)}{\rho_A^i} + \frac{(X^{опор} - X_A)}{\rho_A^{опор}}; \quad g_{i2} = -\frac{(Y^i - Y_A)}{\rho_A^i} + \frac{(Y^{опор} - Y_A)}{\rho_A^{опор}};$$

$$g_{i3} = -\frac{(Z^i - Z_A)}{\rho_A^i} + \frac{(Z^{опор} - Z_A)}{\rho_A^{опор}}.$$

де $X^{опор}, Y^{опор}, Z^{опор}$ - координати опорного супутника, що прийнятий за початковий; X^i, Y^i, Z^i - координати i -го супутника; X_A, Y_A, Z_A - координати визначуваного пункту на монтажному горизонті.

З отриманих за даними багатьох авторів результатами [1;8;9] можна зробити висновок, що мінімальною кількістю супутників необхідною для спостережень є 10 супутників. Досягнення високої точності спостережень можливе лише при спостереженні 12-14 супутників. Слід зауважити, що рівномірне розташування супутників не є оптимальним і можна отримати прийнятну величину GDOP вже при кількості супутників, що дорівнює 10-ти.

Якщо виконати вимоги до розташування опорних пунктів та врахувати, що величина бази спостережень для знімання не перевищує 1 км, можна взяти

емпіричні значення похибок для вимірювання псевдо відстаней наприклад з роботи [1]. Для бази довжиною 1 км маємо такі діапазони зміни складових похибок спостережень див. таблиця 1.

Таблиця 1

Величини основних похибок GPS для бази 1 км

| Джерело | Величина, м |
|--------------|-------------------|
| Тропосфера | $10^{-2}-10^{-3}$ |
| Іоносфера | $10^{-2}-10^{-3}$ |
| Множинність | 10^{-2} |
| Шум приймача | 10^{-3} |
| Ефемериди | 10^{-2} |

Загально відомі дослідження розробників системи GPS американських вчених В.W.Parkinson та J.J.Spilker Jr [1] які вказують, що за сприятливих умов величина відносної похибки складає $10 \cdot 10^{-6} \cdot b$, а за не сприятливих умов величина відносної похибки складає $100 \cdot 10^{-6} \cdot b$. За умов таблиці 1 величина похибки вимірювання псевдо відстані коливатиметься в межах 14 – 20 мм без врахування фактору несприятливої геометрії.

Для визначення впливу похибок вихідного пункту найкраще використати рівняння з [9]. Якщо цілочислова невизначеність відома то МНК рішення для невідомого пункту знаходиться за стандартною схемою параметричного вирівнювання:

$$x_r = x^0 + \delta x_m + \left(G_r^T P_l^{-1} G_r \right)^{-1} G_r^T P_l^{-1} (G_r + G_m - G_r) \delta x_m \quad (3)$$

де δx_m - вектор похибок місцеположення опорного пункту;

δx_r - вектор поправок до визначуваного пункту;

x^0 - оцінка місцеположення визначуваного пункту за відсутності похибок вихідних даних;

δx_m - зсув викликаний зсувом вихідного опорного пункту;

$\left(G_r^T P_l^{-1} G_r \right)^{-1} G_r^T P_l^{-1} (G_r + G_m - G_r) \delta x_m$ - спотворення викликані похибками вихідних даних.

Як правило координати опорного пункту приймають безпомилковими. Однак ці координати як і будь які інші отримують через зрівнювання і містять похибки, які можуть призвести у деяких випадках до суттєвих спотворень. Тому з методичної точки зору найбільш вдалим вирішенням такої проблеми є метод зрівнювання з врахуванням похибок вихідних даних. Цей метод передбачає, що вихідні дані отримують поправки та нову матрицю обернених ваг Q_x . В процесі такого зрівнювання точність невідомих, що відносяться до вихідних даних підвищується. Точність знову визначених невідомих буде

нижча в порівнянні з випадком, коли вихідні данні приймаються безпомилковими але більш реальною.

Згідно з [6] де доводиться некорельованість поправок до векторів вихідного та визначуваного пунктів дисперсія буде записана:

$$m_{\Delta x_i}^2 = m_{(\Delta x)_i}^2 + m_{(\Delta z)_i}^2 = m_x^2$$

Нехай маємо загальний вираз для похибки функції:

$$m_F^2 = m_{F_1}^2 + m_{F_2}^2$$

де $m_{F_1}^2$ та $m_{F_2}^2$ середні квадратичні похибки однієї і тієї ж функції, зумовлені похибками вимірювань та вихідних даних. Тоді на основі критерію малих похибок впливом похибок вихідних даних при виконанні нерівності $m_F - m_{F_1} \leq \varepsilon m_F$, де ε - мала конкретно обрана величина, можна знехтувати. Так оскільки середню квадратичну похибку обчислюють не більше ніж з двома значущими цифрами, то $\varepsilon = 0.05$ і після перетворень отримують:

$$0.11m_{F_1}^2 \geq m_{F_2}^2 \quad (4)$$

За таких вимог можна визначити точність визначення координат опорного пункту таблиця 2.

Таблиця 2

Точність визначення координат опорного пункту

| СКП координат визначуваного пункту GPS, мм | СКП визначення координат опорного пункту GPS, мм |
|--|--|
| 5 | 1,6 |
| 10 | 3,3 |
| 15 | 5 |
| 20 | 6,6 |

З таблиці 2 констатуємо, що в залежності від вимог до точності отримання геодезичної інформації, методика визначення координат опорного пункту за допомогою GPS спостережень може змінюватись.

Висновки. В роботі проаналізовано основні фактори, дослідження яких необхідно виконати в подальшому для геодезичного забезпечення висотного будівництва з використанням GPS-технологій. Першочерговою задачею є розробка рекомендацій для створення проектів локальних інженерно-геодезичних мереж з використанням GPS-технологій

Список літератури

1. Parkinson B.W., Spilker J. J. Jr. Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1996. – p. 798. Volume II, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1996. – p. 652.

2. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз; Пер. з англ. третього вид. під ред. Я.С. Яцківа. - Київ: Наук. Думка, 1995 - 380с.
3. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. - М.: Эко-Трендз, 2000 - 268с.
4. Яндров И. А. Исследование и разработка координатного метода разбивочных работ в строительстве. Автореферат канд. тех. наук. МИИГАиК, Москва 2009 24с.
5. Ассане Антонио Алфредо. Геодезические методы анализа высотных и плановых деформаций инженерных сооружений и земной поверхности. Автореферат канд. тех. наук. МИИГАиК, Москва 2007 24с.
6. Большаков В.Д., Маркузе Б.И., Голубев В.В. Уравнивание геодезических построений. - М.: Недра, 1989 - 413с.
7. Jansson P. Precise Kinematic GPS Positioning with Kalman Filtering and Smoothing. Theory and Applications. Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, Department of Geodesy and Photogrammetry, Stockholm, Sweden, May 1998, pp 134.
8. Шульц Р.В. Вплив геометричного фактора зниження точності на визначення координат під час мобільного знімання. \ \ Інженерна геодезія. – 2004. – №50. – С. 243-248.
9. Harvey R. S. Development of a Precision Pointing System Using an Integrated Multi-Sensor Approach. A Thesis for the Degree of Master of Science. The University of Calgary. Department of Geomatics Engineering. Calgary, Alberta, April 1998, p. 160.

АНОТАЦІЯ

Виконано аналіз основних факторів, які необхідно врахувати при геодезичному забезпеченні висотного будівництва з використанням GPS-технологій

АННОТАЦИЯ

Выполнен анализ основных факторов, которые необходимо учесть при геодезическом обеспечении высотного строительства с использованием GPS-технологий.

SUMMARY

The analysis of basic factors which must be taken into account at the geodetic providing of height building with the use of GPS-technologies is executed.