

XỬ LÝ SỐ LIỆU LƯỚI KẾT HỢP TRỊ ĐO VỆ TINH - MẶT ĐẤT TRONG HỆ TỌA ĐỘ VUÔNG GÓC KHÔNG GIAN QUY ƯỚC ỨNG DỤNG KHI XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH

PGS.TS. NGUYỄN QUANG THẮNG

Trường Đại học Mở - Địa chất

NCS. VŨ THÁI HÀ

Trường Đại học Xây dựng

TS. ĐIỂM CÔNG HUY

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Trong xây dựng công trình sử dụng phổ biến hệ tọa độ địa phương với phép chiếu UTM, múi chiếu và kinh tuyến trục được lựa chọn để biến dạng chiều dài đo trên khu vực xây dựng là nhỏ nhất. Bài báo đã nghiên cứu thuật toán và quy trình xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước, với các thành phần mặt bằng là tọa độ ngang của hệ tọa độ địa phương, còn thành phần thẳng đứng là độ cao trắc địa của điểm, đã xem xét giải quyết các trường hợp bình sai lưới với một điểm gốc, một số điểm gốc và bình sai lưới tự do với số khuyết $d > 0$ (ứng dụng cho lưới khống chế thi công và lưới cơ sở quan trắc biến dạng công trình). Kết quả nghiên cứu lý thuyết đã được minh chứng bằng tính toán bình sai mạng lưới trắc địa công trình thực tế có điểm gốc và lưới tự do có số khuyết $d > 0$.

Abstract: In the construction, it is common to use the local coordinate system with UTM projection, projection zone and central meridian is selected so that the deformation length measurement on the construction area is minimal. In the paper, the algorithm and process of computation and data analysis of combining GNSS - terrestrial networks in conventional three - dimensional coordinate system were studied, with the horizontal components being the local coordinates system and vertical component is the geodetic height of the point. We have calculated the cases of adjustment of the network with one origin point, some origin points and free adjustment with defect $d > 0$ (applied for construction control networks and deformation monitoring networks). Theoretical research results have been proved by calculating the adjustment of the experimental networks with origin points and free adjustment with defect $d > 0$.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay các máy thu Global Navigation Satellite System (GNSS) thế hệ mới cho phép xác định vị trí mặt bằng và độ cao với độ chính xác ngày càng cao, sai số về vị trí mặt bằng và độ cao cũng được thu hẹp, chênh lệch là không đáng kể [8]. Mặt khác độ chính xác đo bằng máy thu GNSS thế hệ hiện tại tương đương với các máy toàn đạc điện tử chính xác. Điều đó dẫn đến xu hướng mới là xử lý đồng thời các trị đo vệ tinh - mặt đất trong hệ tọa độ không gian, tránh sự tách biệt khi xử lý lưới khống chế mặt bằng và độ cao.

Trong các tài liệu [4, 5] đã giải quyết vấn đề tính toán bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời có điểm gốc. Với đặc điểm của hệ tọa độ địa diện chân trời, giải pháp bình sai này phù hợp để xử lý các mạng lưới khống chế trắc địa trong xây dựng công trình dân dụng - công nghiệp.

Trong các bài báo [3, 7] trình bày giải pháp bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất tự do với số khuyết $d > 0$ trong hệ tọa độ địa diện chân trời; ứng dụng dạng lưới này để chuyển trục và độ cao lên các sàn xây dựng khi thi công nhà cao tầng.

Trong xây dựng, nhiều dạng công trình (thủy lợi - thủy điện, giao thông...) sử dụng phổ biến hệ tọa độ địa phương với phép chiếu UTM, múi chiếu và kinh tuyến trục được lựa chọn để biến dạng chiều dài đo trên khu vực xây dựng là nhỏ nhất. Hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước có các trục trong mặt phẳng ngang là các trục tọa độ ngang tương ứng của phép chiếu UTM, còn trục thẳng đứng hướng lên thiên đỉnh với tọa độ đứng bằng độ cao trắc địa của điểm.

Trong [2] đã nêu giải pháp bình sai lưới khống chế với các trị đo mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc

không gian quy ước, chủ yếu theo phương pháp điều kiện kèm ẩn số.

Như vậy, vấn đề cần được xem xét giải quyết trong bài báo là xử lý số liệu đo lưới kết hợp vệ tinh - mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước, đối với các trường hợp bình sai lưới có một hoặc một số điểm gốc và lưới tự do với số khuyết dương ($d > 0$). Lưới tự do với số khuyết dương được ứng dụng khi thành lập lưới khống chế thi công và lưới quan trắc biến dạng công trình.

Đối với lưới quan trắc biến dạng công trình, có thể sử dụng dạng lưới không gian vệ tinh - mặt đất để quan trắc chuyển dịch 3 chiều của công trình nếu như độ chính xác chênh cao trắc địa đáp ứng được yêu cầu độ chính xác xác định chuyển dịch đứng. Khi đó chuyển dịch thẳng đứng được xác định trực

tiếp từ độ cao trắc địa chứ không phải thông qua độ cao chuẩn.

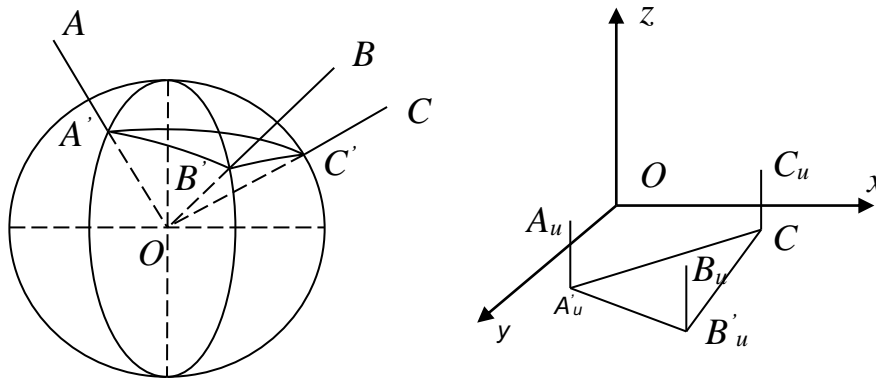
Những vấn đề này sẽ được trình bày ở các nội dung tiếp theo.

2. Những vấn đề chung khi xử lý số liệu đo lưới kết hợp vệ tinh - mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước

2.1 Hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước

Hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước có những đặc điểm sau [2]: các trục ox, oy trùng với các trục tương ứng của hệ tọa độ phẳng trong phép chiếu UTM, trục oz vuông góc với các trục ox, oy và hướng lên thiên đỉnh. Tọa độ z của các điểm bằng độ cao trắc địa của chúng.

Vị trí các điểm trong không gian thực và trong hệ tọa độ không gian quy ước được biểu diễn trên hình 1.



Hình 1. Quan hệ giữa không gian thực và không gian quy ước

Trên hình 1, A_z, B_z, C_z là các điểm trong không gian thực; A'_z, B'_z, C'_z là hình chiếu của những điểm này trong không gian chiếu; A_u, B_u, C_u là vết của các điểm A_z, B_z, C_z trong không gian quy ước; A'_u, B'_u, C'_u là hình chiếu của các điểm A_u, B_u, C_u trên mặt phẳng chiếu UTM.

Giữa các điểm và tọa độ của chúng tồn tại các mối quan hệ sau:

$$A_z A'_z = A_u A'_u; B_z B'_z = B_u B'_u; C_z C'_z = C_u C'_u \quad (1)$$

nghĩa là độ cao các điểm so với mặt Ellipsoid bằng độ cao của chúng so với mặt phẳng chiếu UTM.

2.2 Tính chuyển trị đo GNSS về mặt phẳng chiếu UTM

Trị đo GNSS trong lưới là các giá số tọa độ không gian $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ hoặc $\Delta B, \Delta L, \Delta H$ của các

base line sau bước giải cạnh. Việc tính chuyển các trị đo về mặt phẳng chiếu UTM của khu đo được thực hiện theo trình tự sau đây:

- Chọn một điểm gốc nằm ở giữa khu đo có tọa độ (x_G, y_G) trong hệ tọa độ Nhà nước (VN-2000), tính chuyển tọa độ điểm này sang tọa độ trắc địa (B_G, L_G) theo các công thức nêu trong [4];

- Từ tọa độ trắc địa của điểm gốc kết hợp với các giá số tọa độ đo $\Delta B, \Delta L$ để tính tọa độ trắc địa (B, L) của các điểm trong lưới;

- Chọn múi chiếu (trong trắc địa công trình thường chọn múi chiếu 3°), chọn kinh tuyến trục của múi chiếu đảm bảo biến dạng chiều dài các cạnh trong lưới là nhỏ nhất; tính chuyển tọa độ trắc địa (B, L) của các điểm sang tọa độ (x, y) của phép

chiếu UTM với múi chiếu và kinh tuyến trục đã chọn theo các công thức nêu trong [6];

- Tính các giá số (Δx , Δy) theo các base line đã đo trong lưới.

2.3 Tính chuyển các trị đo mặt đất về mặt phẳng chiếu UTM

a. Tính chuyển các trị đo cạnh về mặt phẳng chiếu UTM

Trước hết, đối với cạnh nghiêng cần tính chuyển trị đo cạnh về tâm mốc theo công thức [1]:

$$S_d = \sqrt{S_{ng}^2 + (l-i)^2 - 2(l-i)S_{ng} \cos Z} \quad (2)$$

trong đó: S_{ng} - chiều dài nghiêng giữa tâm máy và tâm gương; i , l - chiều cao máy và gương; Z - góc thiên đỉnh tại điểm đặt máy; S_d - chiều dài cạnh đo đã được quy về tâm mốc điểm đặt máy và điểm ngắm.

Sau đó, việc tính chuyển trị đo cạnh về mặt phẳng chiếu UTM được thực hiện theo trình tự sau:

- Tính chuyển trị đo cạnh về mặt ellipsoid quy chiếu;

- Tính chuyển giá trị cạnh trên mặt ellipsoid về lưới chiếu UTM.

Công thức tính những số hiệu chỉnh này được trình bày trong [6].

b. Tính chuyển các trị đo góc về mặt phẳng chiếu UTM

Khi tính chuyển các trị đo góc về mặt phẳng chiếu UTM cần đưa vào các số hiệu chỉnh sau:

* Hiệu chỉnh hướng đo từ mặt đất về mặt Ellipsoid: bao gồm các số hiệu chỉnh:

- Số hiệu chỉnh do độ lệch dây dọi đối với hướng đo:

Ở vùng đồng bằng, chỉ cần tính δ_1 cho các hướng đo của lưới hạng I, II, còn ở vùng núi thì phải tính cho lưới tương đương hạng III và IV.

- Số hiệu chỉnh do độ cao điểm ngắm:

Số hiệu chỉnh δ_2 chỉ tính cho lưới hạng I, II ở vùng núi, còn lưới ở vùng đồng bằng có thể bỏ qua.

* Hiệu chỉnh hướng đo từ mặt Ellipsoid về mặt phẳng chiếu UTM.

* Hiệu chỉnh góc đo trên mặt chiếu UTM: số hiệu chỉnh của góc sẽ bằng số hiệu chỉnh hướng phải trừ đi số hiệu chỉnh hướng trái.

Công thức tính những số hiệu chỉnh về góc nói trên được nêu trong tài liệu [6].

2.4. Tương quan độ chính xác giữa các loại trị đo trong lưới kết hợp vệ tinh - mặt đất

Trong lưới đo góc - cạnh, để đảm bảo quan hệ hợp lý giữa sai số trung phương đo góc và sai số trung phương đo cạnh cần thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{1}{3} < \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{m_s}{S} < 3 \quad (3)$$

Cần thấy rằng khi tỷ số trong (3) bằng 1/3 hoặc 3 thì trọng số của một loại trị đo có thể gấp 9 lần trọng số của loại trị đo kia. Điều này chắc chắn ảnh hưởng xấu đến kết quả bình sai lưới. Do vậy, trong điều kiện thiết bị hiện nay cố gắng đảm bảo tỷ số sai số trung phương nêu trên gần với giá trị 1 nhất.

Sai số trung phương đo cạnh bằng máy toàn đạc điện tử được biểu diễn theo công thức:

$$m_s = a + b.S \quad (4)$$

Các máy toàn đạc điện tử hiện nay thường có giá trị: $a = 2 \div 3$ mm; $b = 1 \div 5.10^{-6}$.

Đối với các thiết bị thu GNSS, sai số trung phương trị đo mặt bằng và trị đo chênh cao trắc địa cũng có thể biểu diễn theo công thức (4). Các giá trị a , b của sai số trung phương trị đo mặt bằng và trị đo chênh cao trắc địa theo phương pháp đo tính đối với các máy thu GNSS trước kia và các máy thu được chế tạo trong thời gian gần đây của hãng TRIMBLE được nêu ở bảng 1.

Bảng 1. Giá trị sai số trung phương trị đo mặt bằng và chênh cao trắc địa theo phương pháp đo tính của các máy thu GNSS

Thiết bị thu GNSS	Sai số trung phương mặt bằng		Sai số trung phương chênh cao	
	a (mm)	b (ppm)	a (mm)	b (ppm)
Trimble R3	5	1	10	1
Trimble R8s, R9s, R10s	3	0,1	3,5	0,4

Từ bảng 1 có thể rút ra các nhận xét:

- Độ chính xác các trị đo mặt bằng và chênh cao trắc địa theo phương pháp đo tĩnh đối với các máy thu GNSS được chế tạo trong thời gian gần đây đã được nâng cao đáng kể so với các máy thu trước kia; chênh lệch sai số trung phương trị đo chênh cao trắc địa so với trị đo mặt bằng đã được thu hẹp lại và độ chênh là không lớn, nhất là đối với các mạng lưới khống chế trắc địa công trình có cạnh ngắn;

- Hoàn toàn có thể lựa chọn các máy thu GNSS và toàn đạc điện tử có độ chính xác đo tương đương nhau để đạt được quan hệ tối ưu về độ chính xác khi thành lập lưới không gian trắc địa công trình.

3. Các thuật toán và quy trình bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước ứng dụng trong xây dựng công trình

Lưới khống chế trắc địa công trình với các trị đo vệ tinh - mặt đất được xem như kết hợp giữa lưới không gian (3 chiều - 3D) với lưới mặt bằng (2 chiều - 2D). Quan điểm này cho phép thành lập cũng như xử lý lưới một cách linh hoạt, phù hợp với điều kiện của công trình xây dựng.

Ở đây sẽ xem xét các trường hợp bình sai lưới sau:

3.1 Bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất với một điểm gốc (số khuyết $d = 0$) trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước

Để bình sai lưới trong hệ tọa độ không gian quy ước, điểm gốc của lưới phải là điểm được đo bằng công nghệ GNSS, có tọa độ trong hệ này.

Thuật toán bình sai lưới như sau:

a. Tính tọa độ gần đúng của các điểm trong lưới kết hợp vệ tinh - mặt đất

Tọa độ gần đúng các điểm trong lưới có đặt máy thu GNSS được tính từ điểm gốc, nhờ các giá số tọa độ Δx , Δy , Δz đo đã được tính chuyển theo phép chiếu UTM.

Phần lưới chỉ có các trị đo góc và khoảng cách ngang, việc tính tọa độ mặt phẳng (2D) được thực

hiện theo cách tính thông thường đối với lưới mặt bằng (tính theo giao hội hoặc đường chuyền).

b. Phương trình số hiệu chỉnh các trị đo trong lưới kết hợp vệ tinh - mặt đất

* Phương trình số hiệu chỉnh đối với trị đo GNSS.

* Phương trình số hiệu chỉnh đối với trị đo mặt đất:

- Phương trình số hiệu chỉnh đối với góc ngang β_{jik} ;

- Phương trình số hiệu chỉnh đối với khoảng cách ngang D_{ij} ;

- Phương trình số hiệu chỉnh đối với khoảng cách nghiêng S_{ij} .

Phương trình của các loại trị đo này có dạng tương tự như các phương trình tương ứng đã nêu trong [3, 6].

c. Thuật toán bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất với một điểm gốc

Thuật toán lập và giải hệ phương trình chuẩn, đánh giá độ chính xác các yếu tố của lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất được thực hiện theo lý thuyết bình sai gián tiếp.

3.2 Bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất với một số điểm gốc trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước

Khi lưới có một số điểm đạt độ chính xác yêu cầu làm điểm gốc, tiến hành bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước dựa vào những điểm gốc này.

Thuật toán bình sai lưới có một số điểm gốc về cơ bản giống như trường hợp lưới có một điểm gốc. Khi đó có sự khác biệt: trong lưới có hai điểm gốc trở lên, số hiệu chỉnh vào tọa độ gần đúng của những điểm gốc bằng không, nghĩa là những số hiệu chỉnh này sẽ không có mặt trong các phương trình số hiệu chỉnh; số lượng ẩn số bằng tổng số tọa độ của những điểm cần xác định.

3.3 Bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất tự do (số khuyết $d > 0$) trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước

Trong trắc địa công trình, bình sai lưới tự do (số khuyết $d > 0$) được thực hiện đối với hai dạng lưới sau:

- Lưới khống chế thi công: các điểm khởi tính lập trong giai đoạn khảo sát thiết kế có độ chính xác thấp hơn độ chính xác yêu cầu thành lập lưới khống chế thi công, khi đó những điểm khởi tính này chỉ được coi là điểm định vị chứ không phải là điểm gốc;

- Lưới khống chế cơ sở trong quan trắc biến dạng công trình: trong các chu kỳ quan trắc lưới cơ sở được coi là lưới tự do và được bình sai như lưới có số khuyết $d > 0$. Cách bình sai này cho phép phân tích được độ ổn định các điểm của lưới trong không gian 3 chiều (3D).

a. Thuật toán chung bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất tự do

Lưới vệ tinh - mặt đất hoàn toàn tự do có số khuyết $d = 3$. Với dạng lưới này việc giải hệ phương trình chuẩn thường sẽ không thực hiện được vì ma trận chuẩn R bị suy biến ($\det(R) = 0$). Để giải được hệ phương trình chuẩn, cần bổ sung hệ d phương trình:

$$C^T K + L_C = 0 \quad (5)$$

trong đó: ma trận C_i đối với mỗi điểm định vị là ma trận đơn vị bậc 3 (ký hiệu hiệu là C_1).

Từ đó lập hệ phương trình chuẩn dưới dạng ma trận khối theo công thức:

$$\begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b \\ L_C \end{pmatrix} = 0 \quad (6)$$

Ma trận $R_C = \begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix}$ không suy biến. Như vậy sẽ tồn tại ma trận nghịch đảo:

$$R_C^{-1} = \begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} \tilde{R} & T \\ T^T & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

trong đó: \tilde{R} - ma trận nghịch đảo tổng quát, có thể tính theo công thức:

$$\tilde{R} = (R + C\bar{P}C^T)^{-1} - T\bar{P}T^T \quad (8)$$

Việc tính toán độ chính xác các ẩn số và hàm của chúng được thực hiện theo những công thức đã biết của bình sai lưới tự do.

b. Quy trình bình sai lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất tự do

* Đối với lưới khống chế thi công: bình sai tự do dạng lưới này có những đặc điểm sau:

- Lưới không có điểm gốc, nghĩa là tất cả các điểm trong lưới đều là điểm cần xác định; ma trận C bao gồm các ma trận con C_1 ;

- Các điểm khởi tính được coi là các điểm để định vị lưới theo nguyên tắc: "Tổng bình phương độ

lệch tọa độ các điểm định vị là nhỏ nhất". Độ lệch tọa độ sau bình sai của các điểm định vị cho phép đánh giá chất lượng tọa độ và vị trí của những điểm này.

* Đối với lưới khống chế cơ sở trong quan trắc biến dạng công trình: quy trình bình sai và phân tích độ ổn định các điểm của lưới này trong không gian 3 chiều (3D) như sau:

- Bình sai lưới ở chu kỳ đầu tiên theo thuật toán bình sai lưới tự do, tất cả các ma trận con của các điểm đều lấy là C_1 ;

- Từ chu kỳ thứ hai trở đi, trình tự tính toán như sau:

+ Chọn tọa độ gần đúng của các điểm là tọa độ bình sai ở chu kỳ đầu tiên;

+ Bình sai lưới theo thuật toán bình sai lưới tự do nêu trên, trong đó tất cả các ma trận con của các điểm đều lấy là C_1 . Ẩn số tính được chính là độ lệch tọa độ giữa hai chu kỳ. So sánh độ lệch vị trí các điểm với hạn sai đã xác định để đánh giá chúng có bị dịch chuyển hay không; nếu độ lệch vị trí của tất cả các điểm định vị so với chu kỳ đầu đều nhỏ hơn hạn sai thì dừng tính;

+ Trường hợp có điểm khống chế bị dịch chuyển, ở lần tính tiếp theo gán ma trận con C_i là ma trận 0 bậc 3 (ký hiệu là C_0) cho điểm có độ lệch vị trí vượt hạn sai lớn nhất; bình sai lưới theo thuật toán bình sai lưới tự do. Nếu độ lệch vị trí các điểm định vị còn lại nhỏ hơn hạn sai thì quá trình tính dừng lại. Trường hợp vẫn có điểm định vị trong số các điểm còn lại có độ lệch vị trí lớn hơn hạn sai, quá trình tính sẽ tiếp tục theo cách tương tự, cho đến khi độ lệch vị trí của các điểm định vị này nhỏ hơn hạn sai thì dừng tính.

3.4 Tính độ cao chuẩn sau bình sai lưới trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước

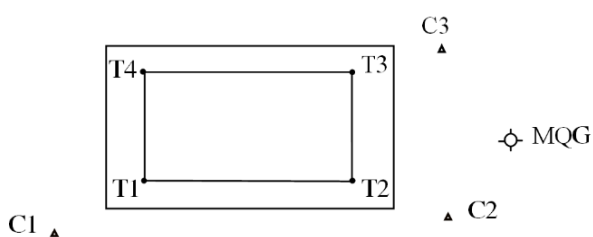
Để có độ cao chuẩn của các điểm trong lưới khi đã có độ cao trắc địa sau bình sai, cần xác định độ thường độ cao của chúng. Khi đó cần tiến hành đo cao hình học để xác định độ cao chuẩn của các điểm khống chế có đo GNSS, những điểm này gọi là điểm song trùng. Các điểm song trùng cần phân bố đều trên mạng lưới. Độ chính xác đo cao hình học cần cao hơn ít nhất một cấp so với độ chính xác xác định độ cao chuẩn các điểm không phải là điểm song trùng trong lưới.

Từ dị thường độ cao của các điểm song trùng, tiến hành nội suy dị thường độ cao các điểm còn lại theo phương pháp được lựa chọn tùy thuộc vào địa hình khu đo, vào số lượng và phân bố các điểm song trùng trên khu vực.

4. Tính toán thực nghiệm

4.1 Đo đạc thực nghiệm

Công trình thực nghiệm: Nhà cao 28 tầng tại xã Thạch Bàn, quận Long Biên, Hà Nội. Sơ đồ lưới thực nghiệm được nêu ở hình 2.



Hình 2. Sơ đồ lưới thực nghiệm

trong đó: C₁, C₂, C₃ - các điểm khống chế trên mặt đất ở xung quanh công trình; T₁, T₂, T₃, T₄ - 4 điểm khống chế đặt trên mái ngôi nhà. Tiến hành đo GNSS toàn bộ 7 điểm lưới, đồng thời tiến hành đo nối lưới với một điểm khống chế Quốc gia có tọa độ trong hệ VN-2000, sử dụng máy thu GNSS Trimble 2 tần Trimble R8s.

Cùng với việc đo GNSS, tiến hành đo các góc và cạnh của tứ giác trắc địa trên mái nhà (T₁T₂T₃T₄) bằng máy toàn đạc điện tử Leica TC-1201 có độ chính xác đo đạc: $m_s = \pm (1 + 1,5\text{ppm}.S)$ mm; $m_\beta, m_z = \pm 1''$.

4.2 Bình sai lưới thực nghiệm với một điểm gốc (d = 0) trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước

Bình sai lưới thực nghiệm với một điểm gốc C₂ trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước được thực hiện theo thuật toán nêu trong các mục 3.1 và 3.2 của bài báo. Kết quả tính toán được nêu trong các bảng 2 và 3.

4.3 Bình sai lưới thực nghiệm dạng lưới tự do (d > 0) trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước

Bình sai lưới thực nghiệm dạng lưới tự do (d > 0) trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước được thực hiện theo thuật toán nêu trong mục 3.3 của bài báo. Kết quả tính toán cũng được nêu trong các bảng 2 và 3.

Trong bảng 2, tọa độ các điểm của lưới trong các phương án bình sai với 1 điểm gốc và bình sai tự do (d > 0) có giá trị bằng nhau; δ_x và δ_y là chênh lệch tọa độ giữa hai phương án bình sai này với tọa độ lưới GPS bình sai bằng phần mềm TBC.

Bảng 2. Tọa độ bình sai và độ chênh theo các phương án tính

Điểm	Bình sai lưới với 1 điểm gốc		Bình sai lưới tự do (d > 0)		Bình sai lưới GPS bằng TBC (biên tập 7 bảng)		Độ chênh (mm)	
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	δ_x	δ_y
T ₁	2325319.330	593981.491	2325319.330	593981.491	2325319.330	593981.492	0	1
T ₂	2325322.648	593998.325	2325322.648	593998.325	2325322.648	593998.325	0	0
T ₃	2325340.110	594008.216	2325340.110	594008.216	2325340.110	594008.217	0	1
T ₄	2325347.147	593994.366	2325347.147	593994.366	2325347.146	593994.367	- 1	1
C ₁	2325238.047	593779.701	2325238.047	593779.701	2325238.047	593779.701	0	0
C ₃	2325215.803	594091.261	2325215.803	594091.261	2325215.802	594091.262	- 1	1
C ₂	2325142.715	593812.068	2325142.715	593812.068	2325142.715	593812.068	0	0

Kết quả đánh giá độ chính xác tọa độ và độ cao các điểm của lưới thực nghiệm với các trị đo kết hợp GNSS - mặt đất bình sai theo các phương án lưới có 1 điểm gốc và lưới tự do (d > 0) được nêu ở bảng 3.

Bảng 3. Kết quả đánh giá độ chính xác lưới thực nghiệm kết hợp GNSS - mặt đất

Điểm	m_x (m)	m_y (m)	m_P (m)	m_z (m)
T ₁	0.001	0.001	0.001	0.002
T ₂	0.001	0.001	0.001	0.003
T ₃	0.001	0.001	0.001	0.002
T ₄	0.001	0.001	0.001	0.002
C ₁	0.001	0.001	0.001	0.001
C ₃	0.001	0.001	0.001	0.001
C ₂	0.001	0.001	0.001	0.002

Từ bảng 2 và 3 có thể rút ra một số nhận xét sau đây:

- Tọa độ các điểm của lưới trong các phương án bình sai lưới với 1 điểm gốc và bình sai tự do (d

>0) có giá trị bằng nhau là do các phương án có cùng dữ liệu đo và đều không chịu ảnh hưởng của sai số số liệu gốc. Chênh lệch tọa độ giữa hai phương án bình sai này với tọa độ lưới GPS bình sai bằng phần mềm TBC có giá trị tuyệt đối lớn nhất là 1 mm, chứng tỏ thuật toán tính tọa độ và bình sai lưới đề xuất là đúng đắn;

- Kết quả đánh giá độ chính xác tọa độ và độ cao các điểm của lưới kết hợp các trị đo GNSS - mặt đất nêu ở bảng 3 chứng tỏ sự phù hợp về độ chính xác lưới sau bình sai so với độ chính xác đã biết của các thiết bị đo, cũng như sự phù hợp về tỷ số độ chính xác giữa các yếu tố mặt bằng và độ cao của trị đo GNSS, giữa độ chính xác đo GNSS và toàn đạc điện tử.

5. Kết luận

Từ những nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm nêu trên, có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Thuật toán và quy trình bình sai lưới kết hợp các trị đo GNSS - mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước khi tính toán với các dạng lưới khác nhau (lưới có một hoặc một số điểm gốc, lưới tự do với số khuyết $d > 0$) nêu trong bài báo là chặt chẽ về mặt khoa học;

- Lưới kết hợp các trị đo GNSS - mặt đất bình sai trong hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước phù hợp với điều kiện hiện nay, khi độ chính xác xác định yếu tố độ cao bằng GNSS được nâng lên đáng kể so với yếu tố mặt bằng, cũng như khi các trị đo GNSS đạt độ chính xác tương đương máy toàn đạc điện tử chính xác. Dạng lưới này phù hợp để thành lập lưới khống chế trắc địa công trình khi sử dụng hệ tọa độ địa phương trên khu vực xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đặng Nam Chinh và nnk (2004), *Nghiên cứu xây dựng quy trình quan trắc địa kỹ thuật và đo đạc phục vụ xây dựng công trình nhà cao tầng trên địa bàn thành phố Hà Nội, Phần II - Công tác trắc địa*, Đề tài KHCN cấp thành phố, Hà Nội.
2. Jozef Beluch (1981), *Szczegolowe sytuacyjno-wysokociowe osnovy geodezyjne wyznaczone w przestrzennym układowie umownym*, Geodezja, Zeszyt 69, Krakow.
3. Vũ Thái Hà, Nguyễn Quang Thắng (2018), *Một số vấn đề xử lý số liệu lưới GPS - mặt đất trong thi công nhà siêu cao tầng*, Tạp chí KHCN Xây dựng, Tập 12 số 6, tháng 9, trang 73-60.
4. Prof. PhD. Hoang Ngoc Ha, MS. Vu Thai Ha (2016), *Adjustment of combined spatial terrestrial - GPS measurement networks in the construction of super high-rise buildings*, International symposium on geospatial and mobile mapping technologies, Hanoi University of Mining and Geology, pg.41-45.
5. Lê Văn Hùng (2013), *Nghiên cứu bình sai kết hợp trị đo GPS và trị đo mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời áp dụng cho các mạng lưới trắc địa công trình*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất.
6. Phạm Hoàng Lâm và nnk (2017), *Trắc địa cao cấp đại cương*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
7. Diêm Công Trang, Nguyễn Quang Thắng (2018), *Solution for testing of work vertical direction of super high - rise building construction*, Hội nghị khoa học quốc tế kỷ niệm 55 năm ngày thành lập Viện KHCN Xây dựng, tháng 10, pp. 347-352.
8. Web site: <http://www.trimble.com/>.

Ngày nhận bài: 11/2/2020.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 15/3/2020.