

MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ XỬ LÝ SỐ LIỆU LƯỚI GPS - MẶT ĐẤT TRONG THI CÔNG NHÀ SIÊU CAO TẦNG

Vũ Thái Hà^{a,*}, Nguyễn Quang Thắng^b

^aKhoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng,

55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất,
Số 8 phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 06/08/2018, Sửa xong 12/09/2018, Chấp nhận đăng 26/09/2018

Tóm tắt

Bài báo đề cập đến một số vấn đề khi xử lý số liệu lưới khống chế phục vụ công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng. Các tác giả đã phân tích và đưa ra công thức để hiệu chỉnh ảnh hưởng độ không song song của các đường dây dọi, độ lệch dây dọi đến kết quả chiếu trục bằng máy chiếu đứng quang học. Đề xuất ứng dụng thuật toán bình sai tự do lưới không gian GPS - mặt đất để xử lý số liệu đo đạc lưới khống chế trên tầng đầu tiên của mỗi đoạn chiếu, khi sử dụng phương pháp chiếu phân đoạn trong công tác chuyển trục lên tầng nhà siêu cao tầng, có kèm theo tính toán với số liệu thực nghiệm. Việc nghiên cứu thuật toán bình sai này cả về phương diện lý thuyết và thực tiễn đã được thực hiện thành công và trình bày trong bài báo.

Từ khoá: nhà siêu cao tầng; chuyển trục lên tầng nhà; bình sai tự do lưới không gian; lưới kết hợp GPS - mặt đất.

RESEARCH ON SOME ISSUES OF COMPUTATION AND DATA ANALYSIS OF COMBINING GPS AND TERRESTRIAL SPATIAL NETWORKS IN SUPER HIGH-RISE BUILDING CONSTRUCTION

Abstract

This article deals with some issues of computation and data analysis of the networks in super high-rise building construction. The authors studied and formulated to correct the effects of the parallel misalignment of plumb lines and the deviation of plumb line on results of on-axis projection by vertical collimator. We proposed the adjustment of spatial GPS - terrestrial free network algorithm should be used to calculate the data of the axis projection net on the first floor of each projected segment, in the construction of super high-rise buildings using the segment projection method. The study of this adjustment algorithm has both theoretical and practical been successfully implemented and presented in the article.

Keywords: super high-rise building; staking out axis up to high floors; adjustment of 3D free network algorithm; GPS - terrestrial network.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(6\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(6)-09) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Đặt vấn đề

Việc xây dựng nhà siêu cao tầng đang trở thành phổ biến ở nước ta. Trong thi công nhà siêu cao tầng, công tác trắc địa ở các tầng lặp lại với độ chính xác cao. Trị số sai lệch theo chiều thẳng đứng tiếp ảnh hưởng tới khả năng chịu lực của công trình nên công tác đo đạc xác định là hết sức quan trọng. Hiện nay đối với nhà siêu cao tầng, để chuyển trục công trình thường sử dụng phương pháp

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: havudhxd@gmail.com (Hà, V. T.)

chiều đứng quang học theo cách chiếu phân đoạn (mỗi phân đoạn khoảng 10 tầng). Khi chiều cao của công trình lớn, nếu sử dụng máy chiếu đứng để chuyển trục sẽ làm giảm độ chính xác chiếu điểm do chiều cao chiếu lớn dần theo từng tầng. Để nâng cao độ chính xác chuyển trục, cần chính xác hóa lưới trục trên mặt sàn đầu tiên của mỗi phân đoạn, làm cơ sở cho việc chiếu tiếp theo. Công tác này nên thực hiện bằng cách kết hợp công nghệ GPS và máy toàn đạc điện tử (TĐĐT) độ chính xác cao [1].

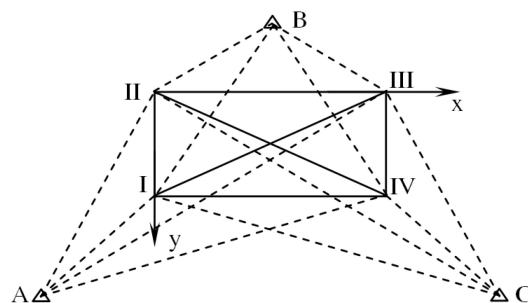
Trên thế giới, sử dụng công nghệ GPS để xác định độ thẳng đứng của công trình đã được đăng ký bằng sáng chế tại Mỹ [2]. Công nghệ GPS cũng được sử dụng để chuyển tọa độ lên công trình và kiểm tra độ thẳng đứng tại tòa nhà cao nhất thế giới tháp Burj Dubai tại Tiểu vương quốc Ả Rập [3, 4]. Ở Việt Nam, độ chính xác của việc đo GPS khi xác định tọa độ trên công trình đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu của tác giả như [5, 6]. Công nghệ GPS được sử dụng để kiểm tra kết quả chuyển trục tại một số công trình nhà cao tầng tiêu biểu tại Việt Nam như tòa nhà Keangnam và tòa nhà Lotte Hanoi Tower tại Hà Nội. Các kết quả đo đạc thực nghiệm tại các công trình này cho thấy công nghệ GPS có độ chính xác hoàn toàn đảm bảo được độ chính xác cần thiết khi bố trí và đo kiểm tra độ thẳng đứng của công trình.

Nội dung bài báo đề cập đến một số vấn đề cần lưu ý khi chính xác hóa lưới trục trên mặt sàn đầu tiên của mỗi phân đoạn bằng công nghệ GPS kết hợp TĐĐT. Hệ tọa độ phù hợp nhất trong trường hợp này là hệ tọa độ địa diện, với trục Oz trùng với pháp tuyến của ellipsoid quy chiếu đi qua điểm gốc [7]. Khi đó độ lệch dầy dọi sẽ ảnh hưởng đến kết quả chuyển trục lên cao và cần được hiệu chỉnh. Vấn đề này được lý giải rõ ràng hơn trong [8]. Ảnh hưởng do độ không song song của các đường dầy dọi cũng đáng kể và cần được hiệu chỉnh theo chiều cao mặt chiếu. Độ lệch giữa các góc đo trên các sàn tầng khi chuyển về góc tương ứng trên mặt bằng móng cũng cần được xem xét trước khi bình sai. Khi xử lý lưới kết hợp GPS - mặt đất, cần quan tâm lựa chọn thuật toán bình sai, chọn điểm gốc lưới, sao cho có được phương án tính toán hợp lý nhất. Những vấn đề vừa nêu sẽ được trình bày cụ thể trong các nội dung tiếp theo.

2. Xác định ảnh hưởng của một số yếu tố khi ứng dụng lưới GPS - mặt đất để chuyển trục công trình lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

2.1. Sơ đồ lưới GPS - mặt đất khi chính xác hóa lưới trục công trình

Sơ đồ đơn giản và hiệu quả ứng dụng lưới GPS - mặt đất để chính xác hóa lưới trục ở đầu mỗi phân đoạn chiếu trong thi công nhà siêu cao tầng được nêu ở Hình 1. Trên Hình 1 các điểm I, II, III, IV là điểm khống chế cơ sở trên mặt bằng móng (tứ giác trắc địa I-II-III-IV), đặt máy thu GPS tại tất cả các điểm lưới tiến hành đo theo phương pháp đo tĩnh. Sau đó bình sai lưới GPS - mặt đất để xác định tọa độ các điểm trên mặt bằng gốc. Trong các lần đo tiếp theo của việc chính xác hóa lưới trục, sau khi chiếu các điểm I, II, III, IV lên đầu mỗi phân đoạn bằng máy chiếu đứng, tiến hành đo góc và cạnh lưới tứ giác trắc địa tạo bởi các điểm chiếu bằng máy TĐĐT. Đồng thời đặt máy GPS tại A, B, C



Hình 1. Hệ thống lưới khống chế GPS - mặt đất trong thi công nhà siêu cao tầng

và các điểm chiếu, tiến hành đo tương tự như ở lần đo đầu. Kết quả đo được xử lý bằng thuật toán bình sai lưới GPS - mặt đất, xác định tọa độ các điểm chiếu trên sàn tầng đầu tiên của mỗi phân đoạn. Độ lệch tọa độ các điểm chiếu trên đầu mỗi phân đoạn và tọa độ tương ứng của chúng trên mặt bằng gốc thể hiện độ chính xác chuyển trục công trình lên cao. Trường hợp độ lệch này vượt quá hạn sai, theo TCVN 9398: 2012 [9], cần tiến hành hoàn nguyên vị trí điểm chiếu.

2.2. Các số hiệu chỉnh khi xử lý lưới GPS - mặt đất trong chuyển trục công trình lên các sàn xây dựng

a. Số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của độ lệch dây dọi đến kết quả chuyển trục công trình

Khi sử dụng lưới GPS - mặt đất để chính xác hóa lưới trục ở đầu mỗi phân đoạn chiếu trong thi công nhà siêu cao tầng nên sử dụng hệ tọa độ địa diện có điểm gốc trùng với một điểm khống chế cơ sở (chẳng hạn điểm I - Hình 1), các trục Ox , Oy song song với trục tương ứng của công trình, trục Oz trùng với pháp tuyến của ellipsoid quy chiếu. Khi đó mặt phẳng địa diện sẽ nghiêng với mặt thủy chuẩn đi qua các điểm khống chế cơ sở trên mặt bằng móng một góc bằng giá trị độ lệch dây dọi (Hình 2).

Trên Hình 2, điểm I' và IV' nằm trên các đường dây dọi đi qua I và IV trên mặt bằng móng; I'' , IV'' là hình chiếu của I' và IV' xuống mặt phẳng địa diện theo phương vuông góc với mặt phẳng địa diện (phương pháp tuyến với ellipsoid quy chiếu); góc ν thể hiện độ lệch dây dọi; đoạn thẳng $I'' - I$ là ảnh hưởng của độ lệch dây dọi đến vị trí điểm chiếu. Trên phạm vi nhỏ của công trình nhà siêu cao tầng, có thể coi vector ảnh hưởng của độ lệch dây dọi tại các điểm I, II, III, IV là như nhau cả về độ lớn và hướng.

Đoạn thẳng S ở cốt 0,0 khi chuyển lên tầng ở độ cao H_i theo phương pháp tuyến và đường dây dọi có độ lệch với nhau là ΔS_ν . Chênh lệch khoảng cách ΔS_ν được tính theo công thức:

$$\Delta S_\nu = \frac{\nu}{\rho} \Delta H \quad (1)$$

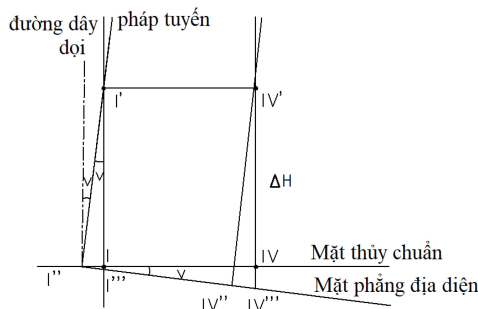
Giá trị ΔS_ν (mm) tính theo chiều cao chiếu ΔH (m) và độ lệch dây dọi ν (") được thể hiện ở Bảng 1. Kết quả khảo sát ở Bảng 1 cho thấy ảnh hưởng của độ lệch giữa hai mặt chiếu tới khoảng cách trong xây dựng nhà siêu cao tầng là đáng kể và cần được hiệu chỉnh, nhất là trong trường hợp chiều cao công trình lớn hơn 100m. Số hiệu chỉnh tọa độ do ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo phương kinh tuyến và phương vuông góc trong mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất được tính theo công thức:

$$\Delta S_\xi = \frac{\xi}{\rho} \Delta H; \Delta S_\eta = \frac{\eta}{\rho} \Delta H \quad (2)$$

trong đó ξ, η là giá trị độ lệch dây dọi thành phần theo hai hướng trên.

Ngoài ra do việc xử lý lưới GPS - mặt đất được thực hiện trên mặt phẳng địa diện, cần lưu ý đến số hiệu chỉnh vị trí điểm do mặt bằng móng (mặt thủy chuẩn gốc) và mặt phẳng địa diện không trùng nhau, với góc lệch bằng độ lệch dây dọi ν (Hình 2). Có thể coi độ lệch vị trí (số hiệu chỉnh) điểm IV (δ_{IV}) là hiệu của hai đoạn thẳng $\delta_{IV} = I'''IV''' - IIV \approx I''IV''' - I''IV = I''IV''' - I''IV \cdot \cos \nu$ hay

$$\delta_{IV} = 2 \sin^2 \frac{\nu}{2} I''IV''' \quad (3)$$



Hình 2. Ảnh hưởng của độ lệch dây dọi đến kết quả chuyển trục lên sàn xây dựng

Bảng 1. Ảnh hưởng độ lệch dây dọi tới khoảng cách theo độ cao mặt chiếu ΔS_v (mm)

ΔH (m) v (")	50	75	100	150	200	300	400
2	0,48	0,73	0,97	1,45	1,94	2,91	3,88
4	0,97	1,45	1,94	2,91	3,88	5,82	7,76
7	1,70	2,55	3,39	5,09	6,79	10,18	13,57
10	2,42	3,64	4,85	7,27	9,70	14,54	19,39
12	2,91	4,36	5,82	8,73	11,64	17,45	23,27
15	3,64	5,45	7,27	10,91	14,54	21,82	29,09

Ở vùng đồng bằng có thể lấy $v = 10''$, khi đó $\delta_{IV} = 1/(8 \cdot 10^8 \cdot I''IV''')$. Với kích thước thông thường của nhà cao tầng số hiệu chỉnh này nhỏ có thể bỏ qua.

Để xác định độ lệch dây dọi, trong phạm vi nhỏ của công trình xây dựng nhà siêu cao tầng có thể sử dụng các trị đo thủy chuẩn hình học và trị đo GPS tương đối độ chính xác cao, với thuật toán và quy trình nêu trong [10].

b. Số hiệu chỉnh chiều dài cạnh do độ không song song của các đường dây dọi

Đường dây dọi có phương vuông góc với mặt cong thủy chuẩn, do vậy các đường dây dọi không song song với nhau do đều hướng về tâm Trái đất. Khoảng cách giữa hai điểm trên mặt bằng móng khi chiếu lên mặt thủy chuẩn ở các mặt sàn tầng trên có độ cao khác nhau sẽ thay đổi là ΔS_H (mm). Số hiệu chỉnh khoảng cách do độ không song song của các đường dây dọi để chuyển chiều dài đo trên các sàn tầng về mặt bằng gốc được tính theo công thức [8]:

$$\Delta S_h = \frac{\Delta H}{R_m} S \quad (4)$$

trong đó S là khoảng cách giữa các điểm đang xét; $\Delta H = H_m - H_0$, với H_m là độ cao mặt sàn xây dựng, H_0 là độ cao mặt bằng móng; $R_m = R_0 + H_0$, với R_0 là bán kính trung bình của Ellipsoid (thường lấy $R_0 = 6371$ km).

Giá trị thay đổi chiều dài ΔS_h (mm) của khoảng cách S (m) trên mặt bằng móng và trên mặt chiếu có chênh cao ΔH (m) so với mặt bằng móng được tính theo công thức (4) nêu ở Bảng 2 [11]. Kết quả khảo sát ở Bảng 2 cho thấy ảnh hưởng của độ cao mặt chiếu tới khoảng cách trong xây dựng nhà siêu cao tầng là đáng kể.

Bảng 2. Ảnh hưởng độ cao mặt chiếu tới khoảng cách ΔS_H (mm)

ΔH (m) S (m)	50	75	100	150	200	300	400
25	0,20	0,29	0,39	0,59	0,78	1,18	1,57
50	0,39	0,59	0,78	1,18	1,57	2,35	3,14
75	0,59	0,88	1,18	1,77	2,35	3,53	4,71
100	0,78	1,18	1,57	2,35	3,14	4,71	6,28

2.3. Số hiệu chỉnh góc đo trong lưới mặt đất

Tại lưới tứ giác trắc địa đầu mỗi phân đoạn chiếu, tiến hành đo các góc ngang bằng máy TĐĐT. Các góc này được chiếu xuống mặt phẳng địa diện xOy . Tại lưới tứ giác trắc địa đầu mỗi phân đoạn chiếu, tiến hành đo các góc ngang bằng máy TĐĐT. Các góc này được chiếu xuống mặt phẳng địa diện xOy theo phép chiếu trực giao. Các điểm của tứ giác trắc địa nằm trên một mặt thủy chuẩn, do đó có độ cao bằng nhau. Từ đó, số hiệu chỉnh để chuyển các góc đo trên sân thi công về mặt phẳng địa diện xOy bằng 0, tức là giá trị các góc giữ nguyên sau phép chiếu. theo phép chiếu trực giao. Các điểm của tứ giác trắc địa nằm trên một mặt thủy chuẩn, do đó có độ cao bằng nhau. Từ đó, số hiệu chỉnh để chuyển các góc đo trên sân thi công về mặt phẳng địa diện xOy bằng 0, tức là giá trị các góc giữ nguyên sau phép chiếu.

3. Lựa chọn phương pháp bình sai lưới GPS - mặt đất để chính xác hóa lưới trực ở đầu mỗi đoạn chiếu trong thi công nhà siêu cao tầng

3.1. Bình sai không gian lưới GPS - mặt đất trong hệ tọa độ địa diện với một điểm gốc (với số khuyết $d = 0$)

Bài toán bình sai không gian lưới GPS - mặt đất trong hệ tọa độ địa diện với một điểm gốc (với số khuyết $d = 0$) được thực hiện theo phương pháp bình sai gián tiếp. Quy trình bài toán bình sai lưới này được trình bày cụ thể trong các tài liệu [1, 12]. Trước khi bình sai, cần phải tính chuyển tính chuyển các giá số tọa độ địa tâm và ma trận hiệp phương sai trong hệ địa tâm từ kết quả đo GPS thành các giá số tọa độ địa diện và ma trận hiệp phương sai trong hệ địa diện M_{xyz} thông qua ma trận xoay.

Trọng số của trị đo GPS hiện nay thường được lấy từ kết quả xử lý số liệu đo GPS nhưng chưa thật sự chính xác, đặc biệt khi đưa vào bài toán bình sai hỗn hợp có cả trị đo mặt đất. Để ước lượng lại trọng số cho trị đo GPS cần bình sai riêng rẽ lưới GPS để tìm được sai số trung phương trọng số đơn vị là μ_{GPS} . Sau đó, sử dụng giá trị này để tính lại trọng số của các trị đo GPS theo công thức:

$$P_{GPS} = (\mu_{GPS}^2 M_{xyz})^{-1} = \frac{1}{\mu_{GPS}^2} M_{xyz}^{-1} \quad (5)$$

Các kết quả tọa độ sau bình sai cần tính chuyển về hệ tọa độ công trình.

3.2. Bình sai không gian lưới GPS - mặt đất theo thuật toán bình sai lưới tự do (với số khuyết $d > 0$)

Lý thuyết về bình sai lưới mặt đất hay lưới GPS riêng rẽ theo thuật toán bình sai tự do đã được công bố trong nhiều tài liệu, giáo trình. Tuy nhiên, chưa có công trình nào đề cập đến bài toán bình sai lưới không gian GPS - mặt đất không có điểm gốc theo thuật toán bình sai tự do. Các tác giả của bài báo đã nghiên cứu lý thuyết bài toán này và tiến hành tính toán thực nghiệm thành công với số liệu cụ thể nêu trong mục 4.

Phương pháp bình sai lưới GPS - mặt đất tự do (với $d = 3$) có các bước tính tương tự như bài toán bình sai lưới có một điểm gốc. Điểm khác biệt là ta coi toàn bộ các điểm trong lưới đều là điểm cần xác định. Ấn số là số hiệu chỉnh tọa độ của tất cả các điểm trong lưới. Do đó, việc giải hệ phương trình chuẩn sẽ không thực hiện được vì ma trận chuẩn R bị suy biến ($\det(R) = 0$). Để giải được hệ phương trình chuẩn có ma trận R suy biến, cần bổ sung hệ d phương trình:

$$C^T K + L_C = 0 \quad (6)$$

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

$$\begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b \\ L_C \end{pmatrix} = 0 \quad (7)$$

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:

$$R_C^{-1} = \begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} \tilde{R} & T \\ T^T & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

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

$$\tilde{R} = (R + C\bar{P}C^T)^{-1} - T\bar{P}T^T \quad (9)$$

Thuật toán bình sai lưới tự do cũng cho phép chúng ta chọn một số điểm trong lưới làm các điểm định vị và tiến hành tính toán theo những công thức nêu trên.

3.3. Lựa chọn phương pháp bình sai lưới GPS - mặt đất để chính xác hóa lưới trực được chiếu theo phương pháp phân đoạn trong thi công nhà siêu cao tầng

Theo quy trình chiếu và chính xác hóa lưới trực đã nêu ở mục 2.1, qua phân tích chúng tôi thấy rằng nên áp dụng phương pháp bình sai lưới tự do để xử lý số liệu đo lưới GPS - mặt đất ở đầu mỗi đoạn chiếu với 3 điểm định vị được chọn là các điểm A, B, C bên ngoài công trình (Hình 1) vì những lý do sau đây:

- Thông thường các trị đo GPS (các base line giữa các điểm A, B, C và giữa các điểm này với các điểm khống chế bên trong công trình) có độ chính xác thấp hơn so với các trị đo lưới tứ giác trắc địa I, II, III, IV bằng máy TĐĐT;

- Vì lý do không mong muốn, trong quá trình thi công điểm khống chế bên ngoài công trình (A, B, C) có thể bị dịch chuyển, khi bình sai lưới với một điểm gốc sẽ gây nên sai lệch vị trí tất cả các điểm của mạng lưới (đặc biệt khi chọn điểm dịch chuyển làm điểm gốc), ảnh hưởng đến kết quả tính toán tọa độ các điểm bên trong công trình.

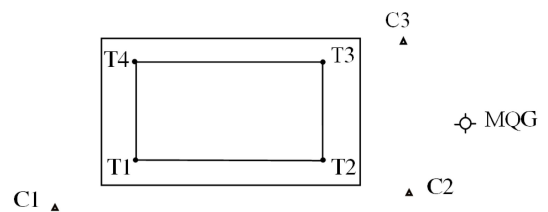
Bình sai lưới GPS - mặt đất tự do với ba điểm định vị được chọn như trên sẽ khắc phục được những hạn chế này, đồng thời cho phép phát hiện được điểm bị dịch chuyển và loại trừ ảnh hưởng của điểm đó đến kết quả tính toán tọa độ khi chính xác hóa lưới trực ở đầu mỗi đoạn chiếu.

4. Thực nghiệm

Vị trí thực nghiệm: Nhà CT2A (28 tầng), Khu nhà ở Quân đội, xã Thạch Bàn, quận Long Biên, Hà Nội. Sơ đồ lưới thực nghiệm được nêu ở Hình 3.

Trên Hình 3, C_1, C_2, C_3 là các điểm khống chế trên mặt đất ở xung quanh công trình; T_1, T_2, T_3, T_4 là 4 điểm khống chế đặt trên mái ngôi nhà. Máy móc dùng cho đo đạc thực nghiệm:

máy thu GPS Trimble 2 tần Trimble R8s; máy toàn đạc điện tử Leica TC-1201 có độ chính xác đo



Hình 3. Sơ đồ vị trí các điểm lưới thực nghiệm

đặc $m_S = \pm(1 + 1,5 \text{ ppm D})\text{mm}$; $m_\beta = \pm 1''$. Tiến hành đo GPS toàn bộ 7 điểm lưới và đo nối lưới với điểm Quốc gia để làm số liệu khởi tính. Sau đó, bằng máy TĐĐT đo các góc và cạnh của tứ giác trắc địa trên mái nhà ($T_1T_2T_3T_4$) nhiều lần và lấy giá trị trung bình. Để xử lý số liệu theo các thuật toán nêu trên, chúng tôi đã tiến hành lập trình bài toán bình sai lưới không gian GPS - mặt đất bằng ngôn ngữ Visual Basic và xử lý theo những phương án sau:

- Bình sai lưới với một điểm gốc (điểm C_2): được chia làm hai trường hợp
 - Bình sai toàn bộ lưới (7 điểm) với các trị đo GPS.
 - Bình sai toàn bộ lưới (7 điểm) với các trị đo GPS và TĐĐT.
- Bình sai lưới tự do với 3 điểm định vị C_1, C_2 và C_3 : cũng chia làm hai trường hợp
 - Bình sai lưới 7 điểm với các trị đo GPS.
 - Bình sai lưới 7 điểm với các trị đo GPS và TĐĐT.
- Bình sai lưới tự do lưới tứ giác trắc địa $T_1T_2T_3T_4$ với các trị đo TĐĐT.

Từ kết quả tính toán bình sai, chiều dài cạnh và tọa độ các điểm của lưới tứ giác trắc địa $T_1T_2T_3T_4$ được thống kê ở Bảng 3 và 4.

Bảng 3. Chiều dài cạnh bình sai lưới tứ giác ở các phương án tính toán (đơn vị m)

Cạnh	Bình sai lưới 7 điểm với 1 điểm gốc		Bình sai tự do lưới 7 điểm		Bình sai lưới tứ giác
	GPS	GPS - TĐĐT	GPS	GPS - TĐĐT	
$T_1 - T_2$	17,1579	17,1579	17,1579	17,1579	17,1577
$T_1 \sim T_3$	33,8536	33,8533	33,8536	33,8533	33,8528
$T_1 \sim T_4$	30,6516	30,6526	30,6516	30,6526	30,6522
$T_2 \sim T_3$	20,0696	20,0687	20,0696	20,0687	20,0684
$T_2 \sim T_4$	24,8167	24,8169	24,8167	24,8169	24,8166
$T_3 \sim T_4$	15,5349	15,5350	15,5349	15,5350	15,5347

Bảng 4. Tọa độ điểm bình sai của lưới tứ giác ở các phương án tính toán (đơn vị m)

Tọa độ	Bình sai lưới 7 điểm với 1 điểm gốc		Bình sai tự do lưới 7 điểm với 3 điểm định vị	
	GPS	GPS - TĐĐT	GPS	GPS - TĐĐT
x_1	2 325 318,3716	2 325 318,3716	2 325 318,3716	2 325 318,3716
y_1	593 982,4872	593 982,4874	593 982,4872	593 982,4874
x_2	2 325 321,5936	2 325 321,5945	2 325 321,5936	2 325 321,5945
y_2	593 999,3398	593 999,3400	593 999,3398	593 999,3400
x_3	2 325 339,0002	2 325 339,0001	2 325 339,0002	2 325 339,0001
y_3	594 009,3299	594 009,3297	594 009,3299	594 009,3297
x_4	2 325 346,1146	2 325 346,1157	2 325 346,1146	2 325 346,1157
y_4	593 995,5198	593 995,5201	593 995,5198	593 995,5201

Từ kết quả tính toán nêu ở Bảng 3 và 4 có thể rút ra một số nhận xét sau:

- Chênh lệch chiều dài cạnh bình sai của 2 phương án a và b so với phương án c có giá trị lớn nhất $\delta S = 1,2 \text{ mm}$. Điều này chứng tỏ các trị đo GPS và TĐĐT có độ chính xác cao và đồng đều nhau. Tại

lưới trực ở đầu mỗi đoạn chiếu vẫn nên đo các góc và cạnh của lưới bằng máy TĐĐT để kiểm tra và nâng cao độ chính xác tọa độ các điểm lưới.

2. Chênh lệch tọa độ điểm trong các phương án bình sai với một điểm gốc và bình sai tự do có giá trị bằng 0, nghĩa là các điểm định vị không bị dịch chuyển. Do mới chỉ có số liệu đo trong một chu kỳ nên kết quả này là hợp lý. Kết quả tính toán chứng tỏ việc nghiên cứu thuật toán bình sai tự do đối với lưới không gian GPS - mặt đất cả về phương diện lý thuyết và thực tế đã được chúng tôi thực hiện thành công để xử lý số liệu đo đạc phục vụ công tác chuyển trục trong thi công nhà siêu cao tầng.

5. Kết luận

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

1. Cần lưu ý tới các số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của độ không song song của các đường dây dọi và độ lệch dây dọi vào trị đo cũng như tọa độ nhận được trong kết quả chiếu trục. Từ đó làm tăng độ chính xác lưới trục ở đầu mỗi đoạn chiếu với phương pháp chiếu phân đoạn bằng máy chiếu đứng.

2. Khi xử lý số liệu đo đạc chính xác hóa lưới trục ở đầu mỗi đoạn chiếu trong thi công nhà siêu cao tầng, nên ứng dụng phương pháp bình sai lưới không gian tự do gồm các trị đo GPS và TĐĐT đã được nghiên cứu và triển khai ứng dụng trong bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Hà, V. T. (2016). *Nghiên cứu ứng dụng đo liên tục khi chuyển trục lên nhà siêu cao tầng có xét đến ảnh hưởng dao động của công trình*. Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường trọng điểm, mã số 111 - 2015/KH XD, Trường Đại học Xây dựng.
- [2] Chisholm, G. S., Daly, J. S., Hansby, M. A. (1998). *Relating to the determination of verticality in tall building and other structures*. 5841353, Nov.28, 1998.
- [3] Hayes, D. M., Sparks, I. R., Cranenbroeck, J. V. (2006). Core Wall Survey Control System for High Rise Building. *In XXIII FIG Congress: Shaping the Change*, Munich, Germany.
- [4] Cranenbroeck, J. V., Hayes, D., Soang, H. O., Haider, M. (2009). Core Wall Control System - The State of Art. *7th FIG Regional Conference*, Hanoi, Vietnam.
- [5] Nhất, T. M., c.s. (2002). *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công trình công nghiệp và nhà cao tầng*. Hà Nội.
- [6] Tuấn, T. V. (2007). *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công trình ở Việt Nam*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ địa chất, Hà Nội.
- [7] Hà, H. N., Hà, V. T. (2016). Adjustment of combined spatial terrestrial - GPS measurement networks in the construction of super high-rise buildings. *Proc. of International symposium on Geo-spatial and Mobile mapping technologies*, GMMT 2016, Hanoi, Vietnam, 41-45.
- [8] Thắng, N. Q. (2016). Luận giải ảnh hưởng của một số yếu tố đến độ chính xác chuyển trục công trình lên các sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 53(1):63-67.
- [9] TCVN 9398:2012. *Công tác trắc địa trong xây dựng công trình, yêu cầu chung*.
- [10] Thắng, N. Q. (2017). Một số giải pháp nâng cao hiệu quả ứng dụng công nghệ GPS trong xây dựng nhà cao tầng và công trình công nghiệp. *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng*, 176(1):63-69.
- [11] Thắng, N. Q., Hà, V. T., Trang, D. C (2017). Solution for reduction of effects of some factors on accuracy of staking out axis to working platforms in construction of skyscraper. *Proc. of the International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources in Hanoi*, Vietnam, 67-73.
- [12] Hùng, L. V. (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.