

GIẢI PHÁP CHUYỂN ĐỘ CAO LÊN SÀN XÂY DỰNG BẰNG CÔNG NGHỆ GNSS TRONG THI CÔNG NHÀ SIÊU CAO TẦNG

PGS. TS. NGUYỄN QUANG THẮNG

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

ThS. VŨ THÁI HÀ

Trường Đại học Xây dựng

ThS. ĐIỂM CÔNG TRANG

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Trong bài báo nghiên cứu khả năng đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng; đề xuất thuật toán, giải pháp và quy trình ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên sàn xây dựng, nhằm chính xác hóa độ cao kết hợp với chính xác hóa vị trí mặt bằng các điểm của lưới chiếu trực trên sàn tầng ở đầu phân đoạn chiếu, khi áp dụng phương pháp chiếu phân đoạn. Tính khả thi và hiệu quả của giải pháp chuyển độ cao lên sàn xây dựng bằng công nghệ GNSS trong thi công nhà siêu cao tầng được minh chứng bằng kết quả đo đạc và xử lý tính toán lưới thực nghiệm, sử dụng thiết bị định vị vệ tinh và máy toàn đạc điện tử đang được ứng dụng rộng rãi trong thực tế sản xuất ở Việt Nam.

Summary: In this study, GNSS technology has the ability to meet the technical requirements of transferring height to the higher floor in construction of high-rise buildings. The authors propose algorithms, solutions and processes to transfer height to working platforms, in order to define precisely height and define precisely horizontal control points of the grid on the first floor of each projected segment, when applying segment projection method. The feasibility and effectiveness of solution for transferring height to working platforms proved by measuring and calculating test grid, GNSS and total station are widely used in actual construction in Viet Nam.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay ở Việt Nam, ứng dụng công nghệ GNSS trong xây dựng nhà cao tầng và siêu cao tầng đã trở nên phổ biến.

Trong xây dựng nhà cao tầng, để chuyển trực công trình lên cao bằng máy chiếu đứng quang học thường sử dụng phương pháp chiếu phân đoạn, với mỗi đoạn chiếu khoảng 10 - 12 tầng. Khi đó để nâng cao độ chính xác chiếu điểm cần chính xác hóa lưới

chiều ở đầu mỗi phân đoạn chiếu. Giải pháp hợp lý nhất cho mục đích này là ứng dụng công nghệ GNSS kết hợp với các thiết bị hiện đại khác (máy chiếu đứng, máy toàn đạc điện tử) để thành lập lưới không gian GNSS - mặt đất. Lưới này sẽ bao gồm các điểm khống chế bên ngoài công trình và điểm khống chế trên công trình (gồm các điểm khống chế cơ sở trên mặt bằng móng và điểm của lưới chiếu trực trên sàn tầng đầu tiên của mỗi phân đoạn). Điểm khống chế bên ngoài công trình có tác dụng lưu giữ và chuyển tọa độ, độ cao cho các điểm trên sàn tầng của ngôi nhà ở các chiều cao khác nhau.

Công tác đo đạc, xử lý số liệu đo lưới không gian GNSS - mặt đất trong thi công nhà cao tầng đã được xem xét trong các tài liệu [1 - 4].

Trong tài liệu [5] trình bày giải pháp ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao trong xây dựng nhà cao tầng và công trình công nghiệp, tuy nhiên ở tài liệu này thuật toán, giải pháp và quy trình ứng dụng cũng như khả năng đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của công nghệ GNSS với mục đích chuyển độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng chưa được xem xét một cách toàn diện và đầy đủ.

Mặt khác, giải pháp chính xác hóa độ cao các điểm của lưới chiếu trực trên sàn tầng ở đầu phân đoạn chiếu khi áp dụng phương pháp chiếu phân đoạn trong xây dựng nhà siêu cao tầng cần kết hợp chặt chẽ với việc chính xác hóa vị trí mặt bằng các điểm này (trong đo đạc và xử lý số liệu lưới không gian GNSS - mặt đất).

Những vấn đề vừa nêu sẽ lần lượt được giải quyết qua những nội dung sau đây.

2. Độ chính xác chuyển độ cao lên các sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

2.1 Yêu cầu độ chính xác chuyển độ cao lên các sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

Độ lệch cho phép chuyển độ cao lên các sàn xây dựng trong thi công nhà cao tầng được nêu trong tài liệu [7], thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Sai số khi chuyển độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà cao tầng

Hạng mục	Nội dung	Độ lệch cho phép (mm)	Sai số trung phương (mm)
Chuyển độ cao theo đường thẳng đứng	Tổng chiều cao h (m)	$h \leq 30$	± 5
		$30 < h \leq 60$	± 10
		$60 < h \leq 90$	± 15
		$90 < h \leq 120$	± 20
		$120 < h \leq 150$	± 25

Trong bảng 1, sai số trung phương chuyển độ cao được tính từ sai số cho phép theo công thức:

$$m_h = \frac{\Delta_h}{t} \quad (1)$$

ở đây: m_h , Δ_h - sai số trung phương và sai số cho phép khi chuyển độ cao lên sàn có chiều cao h trong thi công nhà cao tầng; t - hệ số chuyển đổi giữa sai số cho phép và sai số trung phương (trong bảng 1 chọn t = 2).

Từ bảng 1 có thể rút ra nhận xét: sai số trung phương và sai số cho phép chuyển độ cao tăng lên theo chiều cao h; khi h > 30 m, sai số trung phương $m_h \geq \pm 5$ mm.

2.2 Khả năng đáp ứng độ chính xác yêu cầu chuyển độ cao lên sàn xây dựng bằng công nghệ GNSS trong thi công nhà siêu cao tầng

Theo [8], các thiết bị thu GNSS Trimble R7s, R8s, R9s, R10s của hãng TRIMBLE chế tạo trong thời gian gần đây có độ chính xác đo tương đối tính:

- Về mặt bằng: $\pm (3 \text{ mm} + 0,1 \text{ ppm.S})$;
- Về độ cao: $\pm (3,5 \text{ mm} + 0,4 \text{ ppm.S})$.

Từ đó nếu lấy giá trị khoảng cách ngang từ điểm khống chế bên ngoài công trình (chẳng hạn điểm A) đến điểm nằm trên mặt bằng móng nhà cao tầng (điểm I) là 300 m, tính được sai số xác định chênh cao trắc địa $m_{\Delta H}$ giữa điểm A và điểm chiếu của điểm I lên các sàn tầng theo sự thay đổi của chiều cao (bảng 2).

Bảng 2. Giá trị sai số chênh cao trắc địa $m_{\Delta H}$ theo chiều cao điểm chiếu h

h (m)	100	200	300	400	500
$m_{\Delta H}$ (mm)	3.63	3.64	3.67	3.70	3.73

Từ bảng 2 có nhận xét: với khoảng cách ngang đến điểm khống chế bên ngoài công trình không thay đổi, sai số xác định chênh cao trắc địa $m_{\Delta H}$ thay đổi không đáng kể theo chiều cao công trình.

Mặt khác, nếu so sánh các giá trị sai số chênh cao trắc địa $m_{\Delta H}$ xác định được bằng các máy thu vệ tinh Trimble R7s, R8s, R9s, R10s với sai số cho phép và sai số trung phương chuyển độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà cao tầng nêu ở bảng 1, cho thấy công nghệ GNSS có khả năng đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật của công tác này trong thi công nhà cao tầng, đặc biệt là siêu cao tầng. Vấn đề này sẽ tiếp tục được làm rõ hơn ở các nội dung sau.

3. Giải pháp ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

3.1 Thuật toán xác định độ chênh cao thủy chuẩn và độ chính xác tương ứng khi ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

Giả sử có điểm khống chế bên ngoài công trình ký hiệu là A; I là điểm khống chế trên mặt bằng móng nhà cao tầng; I' là điểm chiếu theo phương thẳng đứng của điểm I lên sàn tầng có chiều cao h. Ngoài ra còn có một số ký hiệu sau:

$H_A^{(0)}, h_A^{(0)}$ - độ cao trắc địa và độ cao thủy chuẩn của điểm A ở lần đo đầu tiên (chu kỳ 0);

$H_I^{(0)}, h_I^{(0)}$ - độ cao trắc địa và độ cao thủy chuẩn của điểm I ở chu kỳ 0;

$H_A^{(i)}, h_A^{(i)}$ - độ cao trắc địa và độ cao thủy chuẩn của điểm A ở lần đo thứ i;

$H_{I'}^{(i)}, h_{I'}^{(i)}$ - độ cao trắc địa và độ cao thủy chuẩn của điểm I' ở lần đo thứ i.

Từ [5] có công thức tính độ cao thủy chuẩn h_j của điểm j:

$$h_j = H_j - \zeta_j \quad (2)$$

trong đó: H_j , ζ_j - độ cao trắc địa và dị thường độ cao của điểm này.

Từ công thức (2) ta có:

$$\Delta h_{AI}^{(0)} = h_I^{(0)} - h_A^{(0)} = (H_I^{(0)} - \zeta_I^{(0)}) - (H_A^{(0)} - \zeta_A^{(0)})$$

$$\Delta h_{AI}^{(i)} = h_I^{(i)} - h_A^{(i)} = (H_I^{(i)} - \zeta_I^{(i)}) - (H_A^{(i)} - \zeta_A^{(i)})$$

Do vậy:

$$\begin{aligned} \Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} &= (H_I^{(i)} - \zeta_I^{(i)}) - (H_A^{(i)} - \zeta_A^{(i)}) - (H_I^{(0)} - \zeta_I^{(0)}) + (H_A^{(0)} - \zeta_A^{(0)}) \\ &= (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) - (\zeta_I^{(i)} - \zeta_I^{(0)}) - (H_A^{(i)} - H_A^{(0)}) + (\zeta_A^{(i)} - \zeta_A^{(0)}) \end{aligned}$$

Có thể coi: $(\zeta_I^{(i)} - \zeta_I^{(0)}) = (\zeta_A^{(i)} - \zeta_A^{(0)})$, từ đó:

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) - (H_A^{(i)} - H_A^{(0)}) \quad (3)$$

Ta thấy $(H_A^{(i)} - H_A^{(0)}) = 0$ nếu như điểm A không bị dịch chuyển giữa hai lần đo. Trường hợp điểm A bị dịch chuyển, có thể phát hiện và xác định độ dịch chuyển nhờ thuật toán bình sai lưới tự do (sẽ được trình bày ở phần sau).

Giả sử $(H_A^{(i)} - H_A^{(0)}) = 0$, khi đó:

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) \quad (4)$$

$$(H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) = (h_I^{(i)} + \zeta_I^{(i)}) - (h_I^{(0)} + \zeta_I^{(0)}) = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) + (\zeta_I^{(i)} - \zeta_I^{(0)})$$

Nếu coi: $(\zeta_I^{(i)} - \zeta_I^{(0)}) = 0$ nhận được:

$$(H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) \quad (6)$$

Đây chính là giá trị độ chênh cao thủy chuẩn cần xác định giữa điểm I' và điểm I ở lần đo thứ i.

Tương tự từ (2) có thể nhận được số hạng thứ hai của công thức (5):

$$(H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)})$$

Đây chính là độ lún của mốc I ở lần đo thứ i so với lần đo đầu tiên, ký hiệu độ lún này là:

$$S_I^{(i)} = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) \quad (7)$$

Từ đó có thể viết lại (5) theo (6) và (7) như sau:

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) + S_I^{(i)} \quad (8)$$

Mặt khác từ (3) ta có:

$$\begin{aligned} \Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} &= (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) - (H_A^{(i)} - H_A^{(0)}) \\ &= (H_I^{(i)} - H_A^{(i)}) - (H_I^{(0)} - H_A^{(0)}) \end{aligned}$$

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = \Delta H_{AI}^{(i)} - \Delta H_{AI}^{(0)} \quad (9)$$

Từ (8) và (9) ta đi đến công thức cần tìm:

$$\Delta H_{AI}^{(i)} - \Delta H_{AI}^{(0)} = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) + S_I^{(i)} \quad (10)$$

$$\text{hay: } (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) = (\Delta H_{AI}^{(i)} - \Delta H_{AI}^{(0)}) - S_I^{(i)} \quad (11)$$

nghĩa là, có thể xác định chênh cao thủy chuẩn giữa điểm I' và điểm I ở lần đo thứ i theo các chênh cao trắc địa giữa điểm I' và điểm I với điểm A và độ lún của điểm I từ lần đo thứ i và lần đo đầu tiên.

Từ (4) có thể viết:

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) + (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) \quad (5)$$

trong đó: $H_I^{(i)}$ - giá trị độ cao trắc địa của điểm I tại lần đo thứ i, đây là giá trị chúng ta không xác định được, vì ở lần đo thứ i không đặt máy được tại điểm I.

Từ công thức (2) có thể viết:

Để khảo sát độ chính xác xác định chênh cao thủy chuẩn giữa điểm I' và điểm I, xuất phát từ công thức (11), đồng thời ký hiệu:

$$\Delta h_{I-I'} = h_I^{(i)} - h_I^{(0)}$$

ta có:

$$m_{\Delta h_{I-I'}}^2 = m_{\Delta H_{AI}}^2 + m_{\Delta H_{AI}}^2 + m_{S_I}^2 \quad (12)$$

Theo bảng 2, đồng thời nhận giá trị $m_{S_I} = \pm (1 + 1.5)$ mm khi quan trắc lún nhà siêu cao tầng có móng cọc dạng khoan nhồi, có thể thấy ảnh hưởng của sai số quan trắc lún nhỏ không đáng kể so với những ảnh hưởng còn lại. Do vậy có thể viết:

$$m_{\Delta h_{I-I'}}^2 = m_{\Delta H_{AI}}^2 + m_{\Delta H_{AI}}^2$$

$$\text{Nếu coi: } m_{\Delta H_{AI}} = m_{\Delta H_{AI}} = m_{\Delta H}$$

$$\text{nhận được công thức: } m_{\Delta h_{I-I'}} = \sqrt{2} \cdot m_{\Delta H} \quad (13)$$

Với $m_{\Delta H} = \pm 3.6$ mm (bảng 2) tính được:

$$m_{\Delta h_{I-I'}} = \pm 5.1 \text{ mm}$$

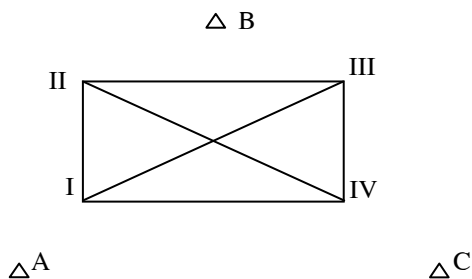
Độ chính xác này đáp ứng được yêu cầu độ chính xác chuyển độ cao lên phần trên của nhà siêu cao tầng, với $h > 30$ m (bảng 1).

Như đã phân tích ở trên, ưu điểm nổi bật của công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng là độ chính xác xác định chênh cao giữa điểm trên sàn tầng và điểm mặt bằng móng hầu như không phụ thuộc vào chiều cao điểm chiếu. Đây là sự khác biệt cơ bản của giải

pháp này so với các phương pháp chuyển độ cao lên cao khác.

3.2 Giải pháp ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

Trong [4, 6] trình bày phương thức chuyển trực lên các sàn xây dựng nhà cao tầng và siêu cao tầng bằng máy chiếu đứng theo phương pháp chiếu phân đoạn, với việc ứng dụng công nghệ GNSS để chính xác hóa lưới chiếu trực ở đầu mỗi phân đoạn. Khi đó cần lập các điểm khống chế GNSS ở bên ngoài công trình (điểm A, B và C), đồng thời tiến hành đo nối chính xác các điểm GNSS này với các điểm khống chế cơ sở I, II, III, IV trên mặt bằng móng (hình 1). Để chính xác hóa lưới chiếu ở đầu mỗi phân đoạn, cần đo nối các điểm khống chế A, B, C với các điểm chiếu theo cùng sơ đồ, máy móc dụng cụ đo và chương trình đo như khi đo nối với lưới khống chế cơ sở trên mặt bằng móng, đồng thời tiến hành đo góc và đo cạnh lưới chiếu trực trên mặt sàn này bằng máy toàn đạc điện tử chính xác.



Hình 1. Hệ thống điểm khống chế để chuyển trực và độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

Khi xử lý số liệu đo nên sử dụng hệ tọa độ địa diện quy ước có các trục Ox, Oy song song với trục tương ứng của công trình, trục Oz trùng với pháp tuyến của Ellipsoid. Để tính chuyển tọa độ địa diện chân trời sang tọa độ địa diện quy ước nên sử dụng thuật toán Helmert dựa vào các điểm song trùng (điểm I, II, III, IV).

Qua phân tích ở [4] thấy rằng nên áp dụng phương pháp bình sai lưới tự do để xử lý số liệu đo lưới không gian GNSS - mặt đất gồm các điểm khống chế A, B, C bên ngoài công trình và các điểm của lưới chuyển trực ở đầu mỗi đoạn chiếu.

Số lượng điểm khống chế bên ngoài công trình nên chọn tối thiểu là 3, khi đó áp dụng thuật toán bình sai lưới GNSS - mặt đất tự do cho phép phát hiện được dịch chuyển (tọa độ mặt bằng và độ cao)

của điểm khống chế và loại trừ ảnh hưởng này đến kết quả tính toán tọa độ khi chính xác hóa lưới trực [6].

Khi bình sai lưới không gian GNSS - mặt đất để chính xác hóa lưới trực ở đầu mỗi phân đoạn, ngoài vị trí mặt bằng ta còn nhận được độ cao các điểm của lưới chiếu. Đây là thông tin có ý nghĩa quan trọng để kiểm tra và chính xác hóa độ cao điểm chiếu trên sàn tầng đang xét, đáp ứng mục tiêu ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng.

Trình tự tính toán xử lý lưới không gian GNSS - mặt đất trong hệ tọa độ địa diện theo thuật toán bình sai lưới tự do (thuật toán bình sai gián tiếp kèm điều kiện) được trình bày cụ thể trong [4, 6].

Trong bài toán bình sai này cần lập phương trình số hiệu chỉnh cho các trị đo GNSS và trị đo mặt đất (góc, cạnh).

Do ta coi các điểm định vị trong lưới đều là điểm cần xác định chứ không phải là điểm gốc, việc giải hệ phương trình chuẩn sẽ không thực hiện được vì ma trận chuẩn R suy biến ($\det(R) = 0$). Để giải được hệ phương trình chuẩn cần bổ sung hệ d phương trình:

$$C^T K + L_c = 0 \quad (14)$$

Với các điểm định vị, ma trận C_i có dạng:

$$C_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Với các điểm không phải là điểm định vị, ma trận C_i có dạng:

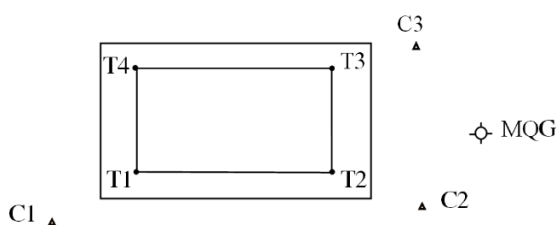
$$C_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Việc tính toán tiếp theo được thực hiện theo trình tự đã biết của bài toán bình sai lưới tự do.

Để áp dụng công thức (11), cần tính chuyển các chênh cao bình sai trong hệ tọa độ địa diện chân trời về chênh cao trắc địa theo trình tự: tính chuyển gia số tọa độ địa diện ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) sau bình sai về gia số tọa độ địa tâm ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$), sau đó tính chuyển ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) về gia số tọa độ trắc địa ($\Delta B, \Delta L, \Delta H$) theo các công thức đã biết.

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 2.



Hình 2. Sơ đồ lưới thực nghiệm

Trên hình 2: 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 GNSS Trimble 2 tần Trimble R8s; máy toàn đạc điện tử Leica TC-1201 có độ chính xác đo đạc: $m_s = \pm (1 + 1.5\text{ppm.S}) \text{ mm}$; $m_\beta, m_z = \pm 1''$. Tiến hành đo GNSS

toàn bộ 7 điểm lưới. Để có số liệu khởi tính, tiến hành đo nối lưới với một điểm khống chế Quốc gia có tọa độ trong hệ VN-2000.

Cùng với việc đo GNSS, tiến hành đo các góc và cạnh của tứ giác trắc địa trên mái nhà (T_1, T_2, T_3, T_4) một số lần bằng máy TĐĐT và lấy giá trị trung bình.

Để xử lý số liệu theo các thuật toán nêu trên, đã tiến hành lập trình bài toán bình sai lưới không gian GNSS - mặt đất tự do bằng ngôn ngữ Visual Basic.

Kết quả tính tọa độ địa diện và sai số trung phương tương ứng của các điểm trong lưới không gian GNSS - mặt đất thực nghiệm xử lý theo thuật toán bình sai lưới tự do được thống kê trong bảng 3.

Bảng 3. Tọa độ địa diện và sai số trung phương các điểm sau bình sai (đơn vị m)

Điểm	x	m_x	y	m_y	z	m_z
T_1	2325318.371	0.001	593982.487	0.001	101.235	0.001
T_2	2325321.594	0.001	593999.340	0.001	101.236	0.003
T_3	2325339.000	0.001	594009.330	0.001	101.222	0.001
T_4	2325346.116	0.001	593995.520	0.001	101.215	0.002
C_1	2325238.228	0.001	593780.240	0.001	17.469	0.002
C_3	2325214.224	0.001	594091.667	0.001	11.554	0.002
C_2	2325142.715	0.001	593812.068	0.001	17.571	0.002

Từ bảng 3 ta thấy, sai số trung phương tọa độ z (độ cao địa diện) các điểm của lưới thực nghiệm có giá trị lớn nhất là $\pm 3 \text{ mm}$, nghĩa là tương ứng với giá trị sai số trung phương chênh cao trắc địa theo lý lịch máy Trimble R8s đã nêu ở 2.2.

Ngoài nội dung nêu trên, trong lưới thực nghiệm đã tiến hành đo chênh cao lượng giác một chiều trên 3 cạnh của lưới: $C_1 - T_1, C_2 - T_1$ và $C_1 - T_4$ bằng máy toàn đạc điện tử Leica TC-1201.

Để so sánh, từ giá số tọa độ địa diện bình sai ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) tiến hành tính chuyển về giá số tọa độ địa tâm ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$), sau đó tính chuyển về giá số tọa độ trắc địa ($\Delta B, \Delta L, \Delta H$).

Kết quả tính và so sánh chênh cao xác định bằng đo cao lượng giác ($\Delta h_{\text{TĐĐT}}$) và chênh cao trắc địa trong lưới không gian GNSS - mặt đất ($\Delta H_{\text{GNSS-MĐ}}$) đối với 3 cạnh nêu trên được nêu ở bảng 4.

Bảng 4. So sánh chênh cao lượng giác và chênh cao trắc địa lưới GNSS - mặt đất

STT	Điểm đầu	Điểm cuối	$\Delta h_{\text{TĐĐT}} \text{ (m)}$	$\Delta H_{\text{GNSS-MĐ}} \text{ (m)}$	$\delta_h \text{ (mm)}$
1	C_1	T_1	83.761	83.765	+ 4
2	C_2	T_1	83.659	83.663	+ 4
3	C_1	T_4	83.743	83.746	+ 3

Trong bảng 4 giá trị độ chênh δ_h được tính theo công thức:

$$\delta_h = \Delta H_{\text{GNSS-MĐ}} - \Delta h_{\text{TĐĐT}} \quad (17)$$

Từ bảng 4 có thể rút ra một số nhận xét:

- Độ chênh của các chênh cao xác định từ kết quả bình sai lưới không gian GNSS - mặt đất và đo cao lượng giác có giá trị lớn nhất $\delta_h \text{ max} = + 4 \text{ mm}$.

Các độ chênh đều có dấu dương, chứng tỏ tồn tại sai số hệ thống (có thể do chiết quang đứng, vì đo cao lượng giác chỉ được tiến hành một chiều từ điểm thấp lên điểm cao; hoặc tồn tại hệ số nào đó giữa khoảng cách đo bằng máy toàn đạc điện tử và thiết bị thu GNSS);

- Các độ chênh δ_h có giá trị nhỏ, phù hợp với lý lịch máy toàn đạc điện tử và thiết bị thu GNSS cũng

như kết quả bình sai lưới GNSS - mặt đất đã nêu trên.

Kết quả tính toán ở bảng 3 và bảng 4 đã minh chứng cho tính đúng đắn của các nghiên cứu lý thuyết trình bày ở mục 2 và mục 3, khẳng định khả năng ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng.

5. Kết luận

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

1) Công nghệ GNSS đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật công tác chuyển độ cao lên sàn xây dựng ở phần trên của công trình nhà siêu cao tầng. Khi đó giải pháp ứng dụng công nghệ này thể hiện tính vượt trội về hiệu quả so với các phương pháp chuyển độ cao lên cao khác.

2) Thuật toán và giải pháp ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên cao trình bày trong bài báo thích hợp để chính xác hóa độ cao kết hợp với chính xác hóa vị trí mặt bằng các điểm của lưới chiếu trục trên sàn tầng ở đầu từng phân đoạn, khi áp dụng phương pháp chiếu phân đoạn. Đây là sự kết hợp cần thiết, thể hiện tính hiệu quả cao của giải pháp ứng dụng công nghệ GNSS kết hợp với các trị đo mặt đất trong thi công nhà siêu cao tầng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Gary Sedman Chisholm, Jason Scott Daly, Michael Anthony Hansby (1998), Relating to the determination

of verticality in tall building and other structures, 5841353, Nov.28.

- [2] Joël Van Cranenbroeck, Doug Hayes, Soang Hun OH, Mohammed Haider (2009), Core Wall Control System - The State of Art, 7th FIG Regional Conference, Viet Nam.
- [3] Douglas MCL Hayes, Ian R Sparks, and Joël Van Cranenbroeck (2006), Core Wall Survey Control System for High Rise Building, in XXIII FIG Congress: *Shaping the Change, Munich, Germany*.
- [4] 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.
- [5] Nguyễn Quang Thắng, Diêm Công Huy (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*, số 1 (176), trang 63-69.
- [6] Diêm Công Trang, Nguyễn Quang Thắng (2018), Solution for testing of work vertical direction of super hight - 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.
- [7] Tiêu chuẩn quốc gia về Trắc địa công trình: GB 50026:2007 (Trung Quốc), Bắc Kinh 2008, mục 8.3.11, trang 95.
- [8] Web site: <https://www.trimble.com/>.

Ngày nhận bài: 08/8/2019.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 20/8/2019.