

# NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN PHÁT HIỆN SAI SỐ HỆ THỐNG DO CHIẾT QUANG TRONG ĐO GÓC ĐỨNG CỦA LƯỚI KHÔNG GIAN CÔNG TRÌNH KẾT HỢP MẶT ĐẤT – VỆ TINH

HOÀNG NGỌC HÀ<sup>(1)</sup>, VŨ THÁI HÀ<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Trường Đại học Mỏ- Địa chất

<sup>(2)</sup>Trường Đại học Xây dựng

## Tóm tắt:

Trị đo mặt đất trong lưới kết hợp mặt đất – vệ tinh hiện nay chủ yếu là trị đo góc bằng và trị đo cạnh nghiêng. Với độ chính xác đo góc của các máy toàn đạc điện tử hiện đại, sai số đo góc cỡ  $\pm 1''$ , hoàn toàn có thể đo thêm trị đo góc đứng làm tăng độ chính xác xác định độ cao cho dạng lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh. Tuy nhiên, trong quá trình đo góc đứng không thể tránh khỏi nhiều nguồn sai số, đặc biệt là sai số hệ thống do ảnh hưởng của chiết quang. Trong bài báo đã nghiên cứu thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc đứng, nhằm nâng cao độ chính xác xác định độ cao trong lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh. 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.

## 1. Đặt vấn đề

Khi xử lý số liệu đo đạc trắc địa cần quan tâm đến các sai số đo theo tính chất và quy luật xuất hiện của chúng, với ba loại sai số: sai số thô (sai lầm), sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên. Bài toán bình sai theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất là bài toán bình sai kinh điển để xử lý trị đo có chứa sai số. Tuy nhiên, bài toán này chỉ thực hiện được và đúng khi các trị đo trong lưới đã được loại bỏ sai số thô và sai số hệ thống, trong kết quả đo chỉ còn lại sai số ngẫu nhiên. Việc nghiên cứu sai số thô và các thuật toán xử lý khi trị đo chứa sai số thô, chúng tôi cũng đã quan tâm nghiên cứu và công bố bài báo về sử dụng bình sai truy hồi để phát hiện sai số thô trên tạp chí Khoa học kỹ thuật Đại học Mỏ - Địa chất [1].

Khi xét dãy trị đo của cùng một đại lượng, nếu thấy các sai số đo có cùng trị số và dấu không đổi hoặc biến đổi theo một quy luật nhất định nào đó thì trong đó tồn tại sai số hệ thống. Sai số hệ thống do các nguyên nhân hoàn toàn xác định và xuất hiện có quy luật rõ ràng. Trong quá trình đo đạc, cần áp dụng các phương pháp,

thời điểm đo thích hợp nhằm hạn chế sự xuất hiện sai số hệ thống. Để loại bỏ hoặc giảm bớt sai số hệ thống trong kết quả đo, thông thường cần biết nguyên nhân và quy luật xuất hiện rồi dùng phương pháp kiểm định tìm được trị số của nó để cải chính vào kết quả đo.

Hiện nay, trong công tác thành lập lưới trắc địa, dạng trị đo góc đứng ít được sử dụng do đạt hiệu quả thấp hơn các dạng trị đo khác như góc bằng, cạnh hay đo vệ tinh. Một trong những nguyên nhân chính dẫn tới độ chính xác không tốt của các trị đo góc đứng là do bị ảnh hưởng đáng kể bởi các nguồn sai số hệ thống khác nhau, chủ yếu do ảnh hưởng của chiết quang. Các sai số hệ thống này, mà đặc biệt là sai số do chiết quang, không thể hạn chế hết trong quá trình đo đạc nên vẫn tồn tại trong kết quả đo góc đứng trước khi đưa vào bài toán bình sai chung. Để nâng cao độ chính xác đo góc đứng, đã có một số nghiên cứu về việc kiểm định máy trước khi đo đạc như [2], [3] nhằm hiệu chỉnh các sai số hiệu thống vào kết quả đo. Phân tích về ảnh hưởng của các sai số hệ thống trong kết quả đo góc đứng và đo góc ngang cũng được đề cập đến trong nghiên cứu [4]. Tuy nhiên vẫn chưa có

nghiên cứu nào đề cập đến việc xử lý số liệu trị đo góc đứng có chứa sai số hệ thống kết hợp trong bài toán bình sai theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất. Tức là, hầu hết các nghiên cứu đã có đều tập trung vào hạn chế sai số hệ thống trước khi tiến hành đo góc mà chưa có phương án phát hiện sai số này trong kết quả đo. Trong khi, sai số do chiết quang trong đo góc đứng thì không thể tránh khỏi và luôn tồn tại trong kết quả đo góc đứng mà không thể xử lý triệt để trước bình sai.

Nhận thấy, việc nghiên cứu các thuật toán để phát hiện sai số hệ thống trong đo góc đứng là cần thiết, nhằm nâng cao khả năng áp dụng của dạng trị đo này trong thành lập lưới khống chế trắc địa hiện nay. Chúng tôi đã nghiên cứu thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh và bằng các tính toán thực nghiệm, chứng minh được tính đúng đắn của thuật toán. Kết quả của bài báo đóng góp cho việc phân tích số liệu đo trắc địa, nâng cao độ chính xác xác định thành phần độ cao trong lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh.

### **2. Trị đo góc đứng trong lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh**

Lưới không gian mặt đất – vệ tinh là dạng lưới khống chế được thành lập với hai dạng trị đo: trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh. Trị đo mặt đất là một hoặc đồng thời các trị đo: khoảng cách nghiêng, góc ngang, góc đứng (hoặc góc thiên đỉnh). Trong hầu hết các nghiên cứu hiện nay, khi đề cập đến quy trình đo và tính toán lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh, mới chỉ đề cập với dạng trị đo mặt đất là góc ngang và cạnh nghiêng mà chưa đề cập đến sử dụng góc đứng. Với công nghệ phát triển như hiện nay, độ chính xác đo góc của các máy toàn đạc điện tử ngày càng cao, sai số đo góc cỡ  $\pm 1''$  với các máy (Leica TS16, Nikon DTM – 760, Topcon GTS -601..) hoặc nhỏ hơn cỡ  $\pm 0,5''$  (Leica TC – 2003, Leica TS60...). Thực tế với thông số đo góc tốt như kể trên, trong một số trường hợp cần thiết có thể đo thêm các góc đứng trong lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh.

Ưu điểm của việc đo thêm trị đo góc đứng là:

Tăng thêm số trị đo thừa trong lưới.

Có thêm giá trị chênh cao lượng giác để so sánh với giá trị chênh cao GNSS.

Trị đo góc ưu tiên trong lưới không gian với trường hợp các điểm có chênh lệch độ cao lớn là đo góc đứng. Vì khi độ nghiêng tia ngắm lớn thì sai số của hướng ngang và góc ngang sẽ đạt giá trị đáng kể. Nên hạn chế sử dụng trị đo góc ngang giữa các điểm có chênh lệch độ cao lớn.

Nhược điểm của việc đo thêm trị đo góc đứng là:

Việc bố trí đo góc đứng trong điều kiện xây dựng không phải lúc nào cũng thật sự thuận tiện, đảm bảo thông hướng.

Quy trình đo phải tuân thủ chặt chẽ để đảm bảo độ chính xác, góc đứng phải được đo cả chiều đi và về (thay đổi vị trí đặt máy và điểm ngắm).

Đặc biệt là đo thêm góc đứng không phải lúc nào cũng làm cho lưới tốt lên, mà còn có khả năng làm giảm độ chính xác của lưới do việc đo góc thiên đỉnh bị ảnh hưởng bởi nhiều nguồn sai số hệ thống. Do vậy cũng giống như trị đo góc bằng, khi đưa vào xử lý số liệu cần linh hoạt trong việc có sử dụng hay không các kết quả đo góc đứng.

Dựa vào các phân tích trên, nhận thấy trị đo góc đứng là dạng trị đo nên có nhưng không bắt buộc trong lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh. Để nâng cao khả năng sử dụng dạng trị đo này, nhằm tăng tính chặt chẽ cho lưới không gian xây dựng được, chúng tôi đề xuất sử dụng thuật toán phát hiện sai số hệ thống của trị đo góc đứng. Thuật toán có khả năng phát hiện ra giá trị của sai số hệ thống tồn tại trong kết quả đo góc đứng được kết hợp trong quá trình xử lý số liệu lưới không gian mặt đất – vệ tinh. Đây cũng là ưu điểm của lưới kết hợp mặt đất – vệ tinh so với dạng lưới chỉ đo một dạng trị đo vệ tinh hoặc trị đo mặt đất. Chỉ khi có thêm trị đo vệ tinh với độ chính xác cao, mới có thêm giá trị kiểm tra và

cho phép phát hiện sai số trong kết quả đo góc đứng nêu có.

**3. Thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc đứng của lưới không gian xây dựng công trình kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh**

Gọi giá trị góc thiên đỉnh đo được có tồn tại sai số hệ thống (chủ yếu do ảnh hưởng của chiết quang) là  $Z$ . Lưới không chế trắc địa trong xây dựng công trình có phạm vi hẹp nên ảnh hưởng của chiết quang là hằng số và kí hiệu là  $c$ . Khi đó giá trị xác suất nhất của góc thiên đỉnh  $\bar{Z}$  được tính theo công thức:

$$\bar{Z} = Z - c \tag{1}$$

Theo phương pháp bình sai gián tiếp thực hiện trong hệ tọa độ địa tâm, nếu lấy ẩn số là tọa độ địa tâm các điểm  $x_i, y_i, z_i$  (với  $i = 1 \div n$ ,  $n$  là số điểm cần xác định trong lưới). Phương trình (1) biến đổi được thành phương trình liên hệ như sau.

$$Z = F(x, y, z) + c \tag{2}$$

Ở đây

$$\bar{Z} = F(x, y, z) = \text{arccctg} \left( \frac{(H_k - H_i) + (t - l)}{\sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}} \right)$$

Trong đó:  $H_k - H_i$  là chênh cao lượng giác giữa 2 điểm,  $t$  là chiều cao máy,  $l$  là chiều cao tiêu ngắm. Trong phạm vi hẹp của công trình, độ lệch dây dọi có thể coi là như nhau,  $(H_k - H_i)$  có thể coi bằng  $(z_k - z_i)$ .

Từ (2), xác định được phương trình số hiệu chỉnh kèm ẩn số là sai số hệ thống  $c$  đối với góc thiên đỉnh  $Z_{ik}$  có dạng như công thức:

$$v_{Z_{ik}} = A_{ik}\delta x_i + B_{ik}\delta y_i + C_{ik}\delta z_i + A_{ki}\delta x_k + B_{ki}\delta y_k + C_{ki}\delta z_k + \delta c + l_{Z_{ik}} \tag{3}$$

với:  $A_{ik} = -\rho \frac{x_k^o - x_i^o}{S_{ik}^{o2}} \cdot \cot g Z_{ik}$  ;

$$B_{ik} = -\rho \frac{y_k^o - y_i^o}{S_{ik}^{o2}} \cdot \cot g Z_{ik} ; \quad C_{ik} = \rho \frac{D_{ik}^o}{S_{ik}^{o2}}$$

$$A_{ki} = -A_{ik} ; B_{ki} = -B_{ik} ; C_{ki} = -C_{ik}$$

$$D_{ik}^o = \sqrt{(x_k^o - x_i^o)^2 + (y_k^o - y_i^o)^2} ;$$

$$l_{Z_{ik}} = Z_{ik}^o - Z_{ik}^{do} ; \quad \cot g Z_{ik}^o = \frac{z_k^o - z_i^o}{D_{ik}^o}$$

Chỉ số “0” ở phía trên thể hiện trị gần đúng của các tọa độ.

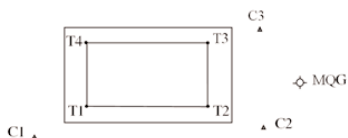
Quy trình xử lý số liệu lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh, với phương trình số hiệu chỉnh trị đo góc ngang, cạnh nghiêng, trị đo vệ tinh đã được đề cập đến trong [5, 6]. Như vậy, vẫn với quy trình xử lý số liệu lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh đã biết, chỉ thêm phương trình số hiệu chỉnh góc thiên đỉnh theo công thức (3). Kết thúc bài toán bình sai kết hợp, nhận được ngay giá trị ẩn  $c$  là sai số hệ thống trong đo góc thiên đỉnh  $Z$ . Từ giá trị  $c$ , đánh giá được chất lượng đo góc thiên đỉnh của lưới. Có thể cải chỉnh giá trị  $c$  vào kết quả đo góc thiên đỉnh để tăng độ chính xác của công tác xử lý số liệu.

Hơn nữa, với công nghệ ngày càng phát triển như hiện nay, khả năng áp dụng dạng lưới không gian trong thi công xây dựng một số dạng công trình đã trở nên khả thi hơn so với trước đây. Lưới không gian có ưu điểm với dạng công trình có phạm vi nhỏ, nhưng chênh cao giữa các điểm trong lưới rất lớn, như trong công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng. Lưới không gian cho phép xác định đồng thời cả ba thành phần tọa độ  $x, y, z$ . Khi đó, việc bổ sung thêm trị đo góc đứng (đã được hạn chế sai số hệ thống, mà đặc biệt là sai số do chiết quang), sẽ nâng cao độ chính xác xác định thành phần độ cao trong lưới. Những vấn đề này đã được nghiên cứu và trình bày kết quả trong [7]. Vậy, nghiên cứu nhằm xác định sai số hệ thống trong đo góc đứng của lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh là cần thiết. Ở mục 4 sau đây sẽ trình bày các thực nghiệm xử lý số liệu đánh giá thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc đứng.

**4. Thực nghiệm**

Để minh chứng cho thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc đứng, chúng tôi đã xây

dụng và đo đạc lưới thực nghiệm là lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh. Ngoài các trị đo vệ tinh, góc bằng, cạnh nghiêng còn đo thêm các trị đo góc đứng tại những vị trí thuận lợi. Vị trí thực nghiệm: Nhà CT2A (28 tầng), Khu nhà ở Quân đội, xã Thạch Bàn, quận Long Biên, Hà Nội. Hình 1 là sơ đồ lưới thực nghiệm.



Hình 1: Sơ đồ vị trí các điểm lưới thực nghiệm

Trên hình 1:  $C_1, C_2, C_3$  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 (tầng 28) 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 đạc  $m_S = \pm (1+1.5\text{ppm}.D)\text{mm}$ ;  $m_\beta = \pm 1''$ . Tiến hành đo GNSS toàn bộ 7 điểm lưới và đo nối lưới với điểm Quốc gia (MQG). Sau đó, bằng máy toàn đạc điện tử: đo các góc ngang và cạnh của tứ giác trắc địa trên mái nhà ( $T_1T_2T_3T_4$ ). Ngoài ra, sử dụng máy toàn đạc điện tử để đo thêm 3 góc đứng từ các điểm khống chế trên mặt đất lên một số điểm ở tầng

28 của tòa nhà. Thông số của lưới thực nghiệm trình bày trong bảng 1.

Các góc đứng này được đo nhiều lần, tại nhiều vị trí ống kính và ở các thời điểm khác nhau trong ngày: sáng, trưa, chiều. Kết quả đo góc đứng tại 3 thời điểm khác nhau trong ngày thể hiện ở bảng 2.

Để xử lý số liệu theo các thuật toán nêu ở mục 3, chúng tôi đã tiến hành lập trình bình sai lưới không gian mặt đất – vệ tinh có kèm thuật toán phát hiện sai số hệ thống của góc đứng bằng ngôn ngữ Visual Basic. Kết quả tính bằng chương trình với góc đứng đo vào buổi sáng 08h30 cho kết quả tốt, có các giá trị tọa độ tương tự như bài toán bình sai chỉ bao gồm trị đo vệ tinh, góc ngang và khoảng cách ngang giữa các điểm trên tầng 28. Với số liệu đo 08h30' sáng, phát hiện được sai số hệ thống của đo góc đứng với ẩn số  $c = -0.31''$ . Kết quả sai số hệ thống này không đáng kể nên không làm giảm đi chất lượng đo của lưới. Nghĩa là độ chính xác đo góc đứng tương đương với các dạng trị đo khác khi không bị ảnh hưởng bởi sai số hệ thống.

Kết quả tính với góc đứng đo vào buổi trưa 11h45' và buổi chiều 14h45' cho sai số hệ thống của góc đứng sai lệch đáng kể lần lượt là  $c = -4.40''$  và  $c = -2.97''$ . Đồng thời, kết quả bài toán

Bảng 1: Thông số của mạng lưới

STT	Tên tham số	Giá trị	STT	Tên tham số	Giá trị
1	Tổng số điểm	8	7	Số trị đo GNSS	20
2	Số điểm góc	1	8	Sai số đo góc	1"
3	Số điểm mới	7	9	Sai số đo cạnh	$1+2.10^{-6}D$
4	Số góc bằng đo	8	10	Dạng lưới	Không gian mặt đất – vệ tinh
5	Số cạnh nghiêng đo	6			
6	Số góc đứng đo	3			

Bảng 2: Kết quả đo khoảng cách nghiêng tại ba thời điểm trong ngày

Số TT	Kí hiệu điểm đo góc		Góc đứng đo 8h30' sáng	Góc đứng đo 11h45' trưa	Góc đứng đo 14h 45' chiều
	Đầu	Cuối			
1	C1	1	21°03'33''	21°03'26''	21°03'29''
2	C1	4	19°10'37''	19°10'32''	19°10'35''
3	C2	1	18°52'23''	18°52'22''	18°52'20''

bình sai chung có độ chính xác giảm đi so với kết quả đo vào 08h30' sáng. Kết quả góc đứng sau bình sai và sai số hệ thống đo góc đứng của 3 lần đo góc đứng được trình bày trong bảng 3, 4, 5.

Nhận thấy kết quả thực nghiệm tính được sai số hệ thống của góc đứng tại các thời điểm khác nhau trong ngày là phù hợp với thực tiễn. Sai số đo góc đứng vào thời điểm giữa trưa khá lớn, lớn hơn 4 lần sai số trung phương đo góc theo lý lịch máy. Nhưng kết quả đo nhiều lần tại cùng thời gian này trong ngày đều sai cùng một giá trị như vậy nên đây chính là giá trị của sai số hệ thống (chủ yếu là do chiết quang). Vậy, khi đi đo góc đứng nên đo vào thời điểm sáng sớm, tránh thời điểm giữa trưa hoặc đầu giờ chiều. Do giữa trưa và đầu giờ chiều, kết quả đo góc đứng sẽ sai lệch do nhiều nguyên nhân khác nhau, đặc biệt là sai số do chiết quang.

Sau khi tìm được các giá trị c, tiến hành sửa chữa các trị đo góc đứng và bài toán được bình sai lại từ đầu để đảm bảo độ tin cậy của kết quả bình sai lưới.

Ngoài thực nghiệm tính bằng số liệu thực tế với các thời điểm khác nhau trong ngày, chúng tôi đã thực nghiệm tính với số liệu mô hình bằng cách lấy giả định các sai số hệ thống. Kết quả cũng phát hiện được chính xác giá trị sai số hệ thống như đã giả định với sai lệch  $\pm 0,5''$ . Điều này một lần nữa khẳng định tính đúng đắn của thuật toán.

### 5. Kết luận

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

*Bảng 3: Kết quả xử lý góc đứng đo vào 08h30' sáng*

Số TT	Kí hiệu điểm đo góc		Góc đứng đo 8h30' sáng	Số hiệu chỉnh	Góc đứng Sau bình sai
	Đầu	Cuối			
1	C1	1	21°03'33''	-0.16''	21°03'32.84''
2	C1	4	19°10'37''	+1.04''	19°10'38.04''
3	C2	1	18°52'23''	+0.04''	18°52'23.04''
Sai số hệ thống c của góc đứng				-0.31''	

*Bảng 4: Kết quả xử lý góc đứng đo vào 11h45' trưa*

Số TT	Kí hiệu điểm đo góc		Góc đứng đo 11h45' trưa	Số hiệu chỉnh	Góc đứng Sau bình sai
	Đầu	Cuối			
1	C1	1	21°03'26''	+5.50''	21°03'31.50''
2	C1	4	19°10'32''	+4.97''	19°10'36.97''
3	C2	1	18°52'22''	+2.70''	18°52'24.70''
Sai số hệ thống c của góc đứng				- 4.40''	

*Bảng 5: Kết quả xử lý góc đứng đo vào 14h45' chiều*

Số TT	Kí hiệu điểm đo góc		Góc đứng đo 14h45' chiều	Số hiệu chỉnh	Góc đứng Sau bình sai
	Đầu	Cuối			
1	C1	1	21°03'29''	+3.38''	21°03'32.38''
2	C1	4	19°10'35''	+3.17''	19°10'38.17''
3	C2	1	18°52'21''	+2.35''	18°52'23.35''
Sai số hệ thống c của góc đứng				-2.97''	

1) Thuật toán phát hiện sai số hệ thống (chủ yếu do ảnh hưởng của chiết quang) tồn tại trong trị đo góc đứng được kết hợp trong quá trình xử lý số liệu lưới không gian mặt đất – vệ tinh cho kết quả phù hợp và có thể ứng dụng trong thực tế để kết quả sau bình sai được tốt hơn.

2) Khi đi đo góc đứng nên đo vào thời điểm sáng sớm, tránh thời điểm giữa trưa hoặc đầu giờ chiều. Do giữa trưa và đầu giờ chiều, kết quả đo góc đứng sẽ sai lệch lớn hơn do nhiều nguyên nhân khác nhau, trong đó ảnh hưởng của chiết quang .

3) Khi đo đạc và xây dựng lưới trắc địa công trình, nên quan tâm đến vấn đề chiết quang và xác định tham số của sai số chiết quang trong điều kiện Việt Nam.○

#### **Tài liệu tham khảo**

[1]. Hoàng Ngọc Hà, Vũ Thái Hà (1/2012), “*Bình sai hỗn hợp lưới mặt đất và GPS, ứng dụng công thức truy hồi để phát hiện sai số thô*”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Mỏ - Địa chất, số 37 1/2012.

[2]. Domantas Bručas, Lauryna Siaudinyte, Mindaugas Rybokas, G.Kulvietis, D.Sabaitis (2014). “*Increasing of the accuracy of vertical angle measurements of geodetic instrumentation*”, *MECHANIKA*, 2014, ISSN 1392–1207,

20(4), pp. 426–430.

[3]. Giniotis, V.; Rybokas, M.; Petroškevičius, P. (2004), “*Investigations into the accuracy of angle calibration*”, *Geodesy and Cartography*, 3(30), pp. 65-70.

[4]. Jana Ižvoltová, Jakub Chromčák (2015), *Diagnostics of Systematic Errors in Angle Measurements*, *Procedia Engineering*, 111, pp. 339-343

[5]. Hoang Ngoc Ha, Vu Thai Ha (2016), “*Adjustment of combined spatial terrestrial – GPS measurement networks in the construction of super high-rise buildings*”, International symposium on geo-spatial and mobile mapping technologies 2016, Hanoi University of Mining and Geology , tr.41-45.

[6]. Vũ Thái Hà (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/KHXD, Trường Đại học Xây dựng.

[7]. Nguyễn Quang Thắng, Vũ Thái Hà, Diêm Công Trang (2019), “*Giải pháp chuyển độ cao lên sàn xây dựng bằng công nghệ GNSS trong thi công nhà siêu cao tầng*”, Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, số 03/2019.○

#### **Summary**

#### **Research on algorithm to detect systematic error due to refraction in the vertical angle measurements of the combining terrestrial and GNSS spatial construction networks**

*Hoang Ngoc Ha, Hanoi University of Mining and Geology*

*Vu Thai Ha, National University of Civil Engineering*

The current terrestrial measurements in the combining terrestrial – GNSS network is mainly horizontal angle measurements and slant distance measurement. Because the accuracy of measuring angle of the modern total station is getting better and better, approximate  $\pm 1''$ , it is possible to measure vertical angle in order to increase the accuracy of determining z - coordinate for the combining terrestrial – GNSS spatial network. However, in the process of measuring vertical angle, it is inevitable that many sources of error, especially systematic errors. In order to increase the accuracy of determining z - coordinate in the combining terrestrial – GNSS spatial network, in this the article, we presented the algorithm to detect systematic errors in measuring vertical. The study of this adjustment algorithm has both theoretical and practical been successfully implemented and presented in the article.○