

TRẮC ĐỊA - ĐỊA CHÍNH - BẢN ĐỒ (trang 90÷100)

PHƯƠNG PHÁP BÌNH SAI GIÁN TIẾP KÈM ĐIỀU KIỆN VÀ VẤN ĐỀ XỬ LÝ SỐ LIỆU LƯỚI CHUYÊN DÙNG TRONG TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH

NGUYỄN QUANG PHÚC, HOÀNG THI MINH HƯƠNG

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Lưới khống chế thi công và lưới quan trắc biến dạng công trình là những lưới chuyên dùng của Trắc địa công trình, có độ chính xác cao hơn hẳn so với lưới đo vẽ bản đồ. Việc xử lý số liệu các mạng lưới này đòi hỏi phải bảo đảm được hai yêu cầu cơ bản: Một là, lưới phải được định vị trong cùng một hệ thống tọa độ (hoặc độ cao) đã chọn trong giai đoạn trước đó (chẳng hạn, lưới thi công phải được định vị trong hệ thống tọa độ đã chọn khi khảo sát-thiết kế công trình; lưới quan trắc biến dạng phải được định vị trong hệ thống tọa độ đã chọn ngay từ chu kỳ quan trắc đầu tiên). Hai là, không được để cho sai số của các số liệu gốc hoặc chuyển dịch (nếu có) của các điểm gốc tồn tại trong các kết quả bình sai. Để đảm bảo được hai yêu cầu đó, giải pháp tốt nhất là áp dụng phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện để tính toán bình sai mạng lưới. Nghiên cứu lý thuyết và các tính toán thực nghiệm trong bài báo sẽ làm sáng tỏ vấn đề này.

1. Đặt vấn đề

Tùy thuộc vào số lượng số liệu gốc, người ta chia lưới trắc địa ra thành lưới phụ thuộc và lưới tự do. Theo đó, lưới có thừa số liệu gốc khởi tính được gọi là lưới phụ thuộc, lưới có vừa đủ số liệu gốc khởi tính được gọi là lưới tự do có số khuyết $d=0$ và lưới thiếu một phần hoặc toàn bộ số liệu gốc khởi tính được gọi là lưới tự do có số khuyết $d>0$. Số khuyết d là số yếu tố khởi tính cần thiết tối thiểu còn thiếu của mạng lưới [3].

Trong lý thuyết bình sai lưới trắc địa, có hai phương pháp bình sai chủ yếu là bình sai điều kiện và bình sai gián tiếp [4]. Bình sai điều kiện là bình sai trị đo. Sau bình sai, các số hiệu chỉnh nhận được thỏa mãn điều kiện $[pvv]=\min$, bảo đảm các sai số khép trong các phương trình điều kiện hình học của lưới đều được “san phẳng” (tức bằng 0). Các phương trình điều kiện hình học của lưới có thể là hàm của các trị đo, hoặc là hàm của các trị đo và các số liệu gốc. Trong bình sai điều kiện không đặt vấn đề định vị lưới. Bình sai gián tiếp là bình sai tham số. Sau bình sai, các số hiệu chỉnh nhận được thỏa mãn điều kiện $[pvv]=\min$, đồng thời lưới được định vị trong hệ thống tọa độ (hoặc độ cao) của các số liệu gốc. Bình sai điều kiện hay bình sai gián

tiếp được áp dụng để bình sai các mạng lưới phụ thuộc hoặc lưới tự do có số khuyết $d=0$ [4].

Trong khi đó, việc xử lý số liệu các mạng lưới chuyên dùng của trắc địa công trình lại đòi hỏi phải bảo đảm hai yêu cầu chủ yếu [2]:

- Một là, lưới phải được định vị trong cùng một hệ thống tọa độ (hoặc độ cao) đã chọn trong giai đoạn trước đó.

- Hai là, không được để cho sai số của các số liệu gốc hoặc chuyển dịch (nếu có) của các điểm gốc tồn tại trong các kết quả bình sai.

Các yêu cầu này cho thấy: Không thể áp dụng phương pháp bình sai điều kiện để bình sai lưới chuyên dùng vì không định vị được lưới. Cũng không thể áp dụng bình sai gián tiếp để bình sai lưới chuyên dùng vì không loại bỏ được sai số số liệu gốc trong kết quả bình sai. Vì thế, cần phải xem lưới chuyên dùng của trắc địa công trình như một lưới tự do có số khuyết $d>0$ và bình sai lưới theo phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện.

2. Phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện

Giả sử một mạng lưới trắc địa được bình sai theo phương pháp gián tiếp. Hệ phương trình số hiệu chỉnh được viết dưới dạng ma trận:

$$V=AX+L \quad . \quad (1)$$

Theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, sẽ lập được hệ phương trình chuẩn ẩn số:

$$RX+b=0 \quad (2)$$

trong đó đã ký hiệu $R=A^T P A$ và $b=A^T P L$, với $P=\text{diag}(p_1 \ p_2 \ \dots \ p_n)$.

Đối với lưới có đủ hoặc thừa số liệu gốc, nghiệm của hệ phương trình chuẩn (2) được giải một cách bình thường theo công thức:

$$X=-R^{-1} \cdot b \quad (3)$$

Tuy nhiên, đối với lưới tự do có số khuyết $d>0$, hệ phương trình chuẩn (2) không giải được do có $\det(R)=0$. Vì vậy, cần đưa vào hệ (2) một hệ điều kiện bổ sung:

$$C^T X=0 \quad (4)$$

Số phương trình điều kiện bổ sung của (4) phải độc lập và bằng số khuyết d của lưới.

Giải kết hợp (2) và (4) sẽ tìm được nghiệm theo công thức:

$$X=-R^{-1} \cdot b \quad (5)$$

với $R^{-1}=(R+CC^T)^{-1} \cdot TT^T$ và được gọi là ma trận giả nghịch đảo [3].

Trong phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện, ý nghĩa “gián tiếp” được thể hiện ở hệ (2), còn ý nghĩa “điều kiện” được thể hiện ở hệ (4).

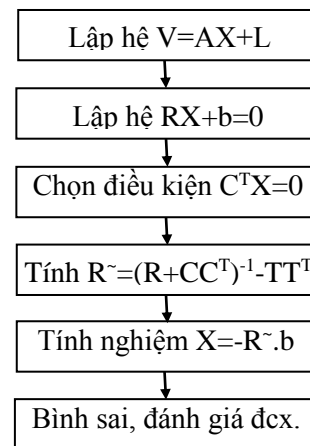
Các kết quả nghiên cứu [1,2] đã cho thấy trong phương pháp bình sai này, vector số hiệu chỉnh của các trị đo là duy nhất, không phụ thuộc vào sự lựa chọn hệ điều kiện bổ sung (4); mặt khác, tập hợp số liệu gốc chỉ tham gia vào quá trình định vị mà không tham gia vào quá trình bình sai, vì thế kết quả bình sai không chịu ảnh hưởng của sai số số liệu gốc. Có đủ cơ sở để bảo đảm rằng, bình sai gián tiếp kèm điều kiện là giải pháp tốt nhất để xử lý số liệu các mạng lưới chuyên dùng của trắc địa công trình. Vấn đề còn lại là điều kiện bổ sung $C^T X=0$ trong bài toán bình sai gián tiếp kèm điều kiện cần phải lựa chọn như thế nào để phù hợp với từng mục đích cụ thể.

3. Vấn đề xử lý số liệu lưới chuyên dùng trong trắc địa công trình

3.1. Xử lý số liệu lưới thi công

Khi thành lập lưới thi công, nhất thiết phải thực hiện đo nối tới các điểm khống chế đã có tọa độ (hoặc độ cao) trên khu vực xây dựng công trình. Hiên nhiên trong lưới có 2 loại điểm: điểm loại 1 là những điểm cũ, đã có tọa

độ (hoặc độ cao); điểm loại 2 là những điểm mới thành lập, cần xác định tọa độ (hoặc độ cao). Để đảm bảo cho lưới thi công có yêu cầu độ chính xác cao không bị biến dạng bởi ảnh hưởng của các số liệu gốc và có thể được tính toán tọa độ (hoặc độ cao) trong hệ tọa độ của công trình thì các điểm của lưới cũ (đã có tọa độ hoặc độ cao) trên khu vực xây dựng chỉ được sử dụng như các điểm định vị tạm thời cho lưới khống chế thi công mà không được sử dụng như các số liệu gốc. Nói cách khác, không được bình sai lưới thi công như một lưới phụ thuộc theo phương pháp gián tiếp mà phải bình sai nó như một lưới tự do có số khuyết $d>0$ theo phương pháp gián tiếp kèm điều kiện. Khi đó, hệ điều kiện bổ sung (4) được chọn cần bảo đảm nguyên tắc “tổng bình phương độ lệch tọa độ (hoặc độ cao) tại các điểm cũ là nhỏ nhất”. Bảo đảm nguyên tắc này, việc xử lý số liệu lưới khống chế thi công cần phải được thực hiện theo lưu đồ như trên hình 1.



Hình 1. Quy trình xử lý lưới khống chế thi công

3.2. Xử lý số liệu lưới quan trắc biến dạng

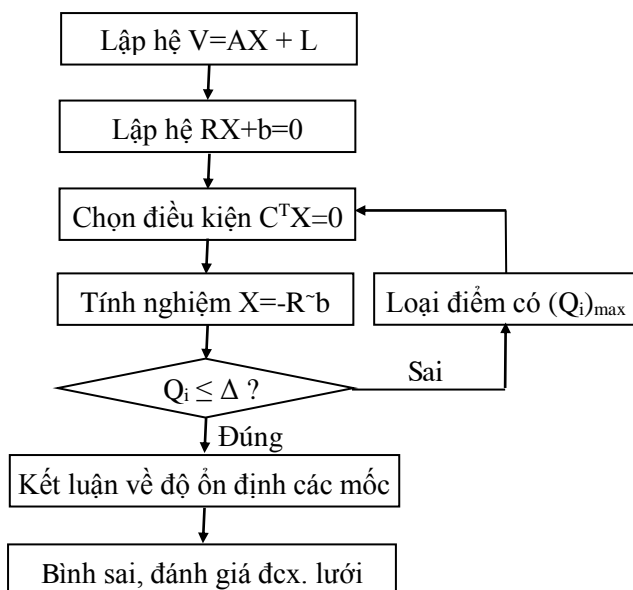
Theo truyền thống, để quan trắc biến dạng thường lập lưới khống chế 2 cấp độc lập, trong đó cấp lưới cơ sở dùng làm khởi tính tọa độ (hoặc độ cao) trong các chu kỳ, có yêu cầu độ chính xác và độ ổn định cao. Một trong những nhiệm vụ quan trọng khi xử lý số liệu quan trắc biến dạng là phải phân tích, đánh giá độ ổn định các mốc lưới khống chế cơ sở. Công việc này thực chất là đi tìm gốc chuẩn của phân tích biến dạng. Gốc chuẩn trong phân tích biến dạng có thể là [2]:

- *Góc chuẩn cố định* (hệ tham khảo cố định ứng với trường hợp bình sai lưới tự do có số khuyết $d=0$).

- *Góc chuẩn trọng tâm* (hệ tham khảo trọng tâm với ma trận giả nghịch đảo chính R^+).

- *Góc chuẩn tham khảo* (hệ tham khảo giả định với ma trận giả nghịch đảo R^g hoặc R^{\sim}).

Việc tìm kiếm điểm khống chế cơ sở ổn định và chọn góc chuẩn để phân tích biến dạng là một quá trình lặp: dùng góc chuẩn để phân tích độ ổn định các điểm và chỉ khi biết mức độ ổn định các điểm mới có thể quyết định góc chuẩn hợp lý. Để giải quyết vấn đề này rõ ràng là không thể bình sai hệ thống lưới quan trắc biến dạng như một lưới phụ thuộc theo phương pháp gián tiếp mà phải bình sai nó như một lưới tự do có số khuyết $d>0$ theo phương pháp gián tiếp kèm điều kiện và với một quy trình tính lặp hợp lý. Theo đó, trong lần tính lặp đầu tiên, dùng góc chuẩn trọng tâm để phân tích độ ổn định các điểm. Nếu kết quả phân tích cho thấy các điểm cơ sở đều ổn định thì sẽ sử dụng góc chuẩn trọng tâm cho các tính toán tiếp theo. Ngược lại, nếu thấy có điểm cơ sở không ổn định sẽ sử dụng góc chuẩn tham khảo. Quá trình tính lặp sẽ kết thúc cho đến khi góc chuẩn tham khảo được chọn chỉ bao gồm các điểm cơ sở ổn định. Bảo đảm nguyên tắc này, việc xử lý số liệu lưới quan trắc biến dạng cần phải được thực hiện theo lưu đồ như trên hình 2.



Hình 2- Quy trình xử lý lưới quan trắc biến dạng

4. Các tính toán thực nghiệm

Để minh chứng cho các vấn đề lý thuyết nêu trên, trong phân này sẽ tiến hành một số tính toán thực nghiệm.

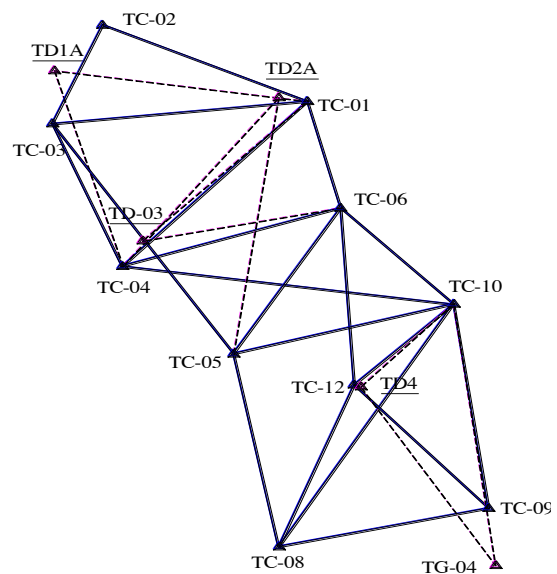
4.1. Thực nghiệm xử lý số liệu lưới khống chế thi công

Mạng lưới lấy làm thực nghiệm là mạng lưới khống chế thi công một công trình thủy điện có trong thực tế sản xuất (hình 3).

Trong lưới có 5 điểm loại 1 (bảng 1) và 10 điểm loại 2 với 58 góc và 34 cạnh được đo bằng máy toàn đạc điện tử TC-1700. Thực hiện xử lý lưới theo 2 phương án là bình sai gián tiếp phụ thuộc và bình sai gián tiếp kèm điều kiện, trong đó các điểm loại 1 được chọn làm điểm định vị. Do khuôn khổ của một bài báo có hạn, xin được trích dẫn một số thông tin chính của kết quả bình sai như sau:

Bảng 1. Tọa độ các điểm loại 1

TT	Tên điểm	Tọa độ	
		X	Y
1	TD1A	2140321,570	445327,245
2	TD2A	2140228,386	445959,779
3	TD-03	2139752,253	445578,987
4	TD4	2139270,864	446191,410
5	TG-04	2138675,031	446572,693



Hình 3. Lưới thực nghiệm 1

Bảng 2. Góc đo và độ lệch số hiệu chỉnh trị đo góc theo 2 phương án

TT	Ký hiệu góc			Số h.c (")		Độ lệch	TT	Ký hiệu góc			Số h.c (")		Độ lệch
	T	G	P	V _{gt}	V _{gtdk}			T	G	P	V _{gt}	V _{gtdk}	
1	TC-06	TC-01	TC-12	1,58	0,50	1,08	30	TC-10	TC-12	TC-09	0,00	0,05	-0,05
2	TC-12	TC-01	TC-08	-0,26	-0,55	0,29	31	TC-09	TC-12	TC-08	0,49	0,38	0,11
3	TC-08	TC-01	TC-05	0,94	1,36	-0,42	32	TC-08	TC-12	TC-01	-0,76	0,44	-1,20
4	TC-05	TC-01	TC-04	1,73	0,74	0,99	33	TC-05	TC-08	TC-01	0,64	0,93	-0,29
5	TC-04	TC-01	TC-03	-2,18	-1,72	-0,46	34	TC-01	TC-08	TC-12	1,92	1,03	0,89
6	TC-03	TC-01	TC-02	-0,34	0,03	-0,37	35	TC-12	TG-04	TD4	0,22	-1,37	1,59
7	TC-01	TC-02	TC-04	0,25	0,03	0,22	36	TD4	TG-04	TC-10	-4,61	0,44	-5,05
8	TC-04	TC-02	TC-03	2,45	1,93	0,52	37	TG-04	TC-10	TD4	-4,68	-0,25	-4,43
...
22	TC-06	TC-05	TC-10	1,30	0,31	0,99	51	TD-04	TC-10	TC-06	-2,30	0,37	-2,67
23	TC-10	TC-05	TC-08	0,39	0,70	-0,31	52	TC-06	TD4	TC-10	5,20	1,08	4,12
24	TC-10	TC-06	TC-09	-0,16	0,61	-0,77	53	TC-10	TC-06	TD4	-2,40	-0,97	-1,43
25	TC-09	TC-06	TC-12	-0,70	-0,26	-0,44	54	TD-03	TC-06	TC-01	-1,50	-0,28	-1,22
26	TC-04	TC-06	TC-03	-0,70	0,37	-1,07	55	TD2A	TD-03	TC-01	0,78	-0,15	0,93
27	TC-03	TC-06	TC-01	-1,53	-0,70	-0,83	56	TC-01	TD-03	TC-06	-0,94	-0,10	-0,84
28	TC-01	TC-12	TC-06	-0,02	-0,56	0,54	57	TD2A	TD1A	TC-04	0,97	-0,01	0,98
29	TC-06	TC-12	TC-10	0,28	-0,31	0,59	58	TD1A	TC-04	TD2A	-5,20	-0,01	-5,19

Bảng 3. Cận đo và độ lệch số hiệu chỉnh trị đo cạnh theo 2 phương án

T	Ký hiệu cạnh		Số h.c (cm)		Lệch S (cm)	T	Ký hiệu cạnh		Số h.c (cm)		Lệch S (cm)
	Sau	Trước	V _{gt}	V _{gtdk}			Sau	Trước	V _{gt}	V _{gtdk}	
1	TC-01	TC-06	0,2	0,3	-0,1	18	TD1A	TC-04	0,4	0,0	0,4
2	TC-01	TC-12	0,2	0,0	0,2	19	TC-03	TD2A	-0,6	-0,4	-0,2
3	TC-02	TC-03	0,1	0,2	-0,1	20	TG-04	TC-12	0,7	0,2	0,5
4	TC-02	TC-04	0,0	0,3	-0,3	21	TD2A	TC-04	-0,3	0,0	-0,3
...
13	TC-04	TC-06	0,0	-0,2	0,2	30	TD-03	TC-01	0,4	0,2	0,2
14	TC-04	TC-10	0,2	-0,2	0,4	31	TD-03	TC-06	0,3	-0,2	0,5
15	TC-05	TC-06	0,1	-0,2	0,3	32	TC-06	TD4	-0,7	-0,2	-0,5
16	TC-06	TC-09	0,2	-0,2	0,4	33	TD4	TC-10	-0,5	0,1	-0,6
17	TC-06	TC-10	0,3	0,0	0,3	34	TC-10	TG-04	2,1	0,0	2,1

Bảng 4. Tọa độ và độ lệch vị trí điểm theo 2 phương án

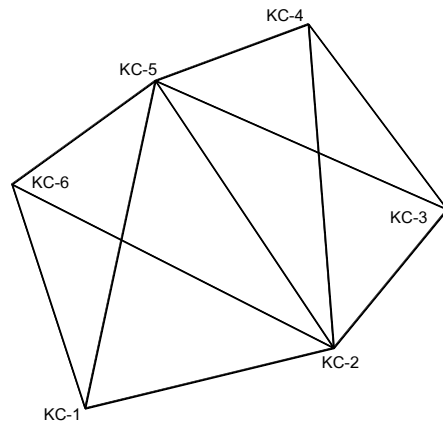
T	Tên điểm	P.án tính	Tọa độ X (m)	Tọa độ Y (m)	Lệch D (m)	T	Tên điểm	P.án tính	Tọa độ X (m)	Tọa độ Y (m)	Lệch D (m)
1	TC-01	1	2140216,545	446041,490	0,009	6	TC-06	1	2139863,372	446135,908	0,008
		2	2140216,54	446041,498				2	2139863,364	446135,907	
2	TC-02	1	2140469,675	445462,927	0,016	7	TC-12	1	2139278,642	446174,008	0,015
		2	2140469,683	445462,941				2	2139278,636	446173,994	
3	TC-03	1	2140143,642	445322,918	0,013	8	TC-08	1	2138735,855	445962,159	0,024
		2	2140143,653	445322,925				2	2138735,852	445962,135	
4	TC-04	1	2139669,435	445519,038	0,005	9	TC-09	1	2138866,257	446553,082	0,024
		2	2139669,439	445519,035				2	2138866,246	446553,061	
5	TC-05	1	2139378,333	445833,192	0,011	10	TC-10	1	2139543,559	446453,755	0,013
		2	2139378,335	445833,181				2	2139543,549	446453,746	

Từ các kết quả thực nghiệm nêu trong các bảng 2, 3 và 4 có thể thấy: Nếu xem lưới thi công như một lưới phụ thuộc và xử lý số liệu lưới theo phương pháp gián tiếp thì các kết quả bình sai bị sai lệch rất đáng kể. Nói cách khác, lưới thi công có độ chính xác cao đã bị biến dạng do ảnh hưởng sai số của các số liệu góc.

4.2. Thực nghiệm xử lý số liệu lưới quan trắc biến dạng

Trong sơ đồ lưới như trên hình 4, đã tạo ra chuyển dịch thực của mốc KC-1 là -5mm và -4mm tương ứng theo trục X và trục Y trên nền đồ họa AutoCAD. Tương tự, của mốc KC-3 là +3mm và +6mm. Sau đó, đo lại tất cả 16 góc và 11 cạnh trên nền đồ họa AutoCAD và xem đó là những “trị đo” để đưa vào bình sai. Áp dụng phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện và với một quy trình tính lặp như trên hình 2 để phát hiện chuyển dịch của các mốc. Tọa độ ban

đầu của các mốc như trong bảng 5. Tiêu chuẩn ổn định các mốc lấy là $\Delta=3\text{mm}$. Việc định vị lưới được thực hiện theo nguyên tắc tính lặp theo một quy trình như đã mô tả trên hình 2. Sau 3 lần tính lặp, đã phát hiện được chính xác chuyển dịch thực của các mốc như trong bảng 6.



Hình 4- Lưới thực nghiệm 2

Bảng 5. Tọa độ ban đầu của các mốc

TT	Tên điểm	Tọa độ (m)		TT	Tên điểm	Tọa độ (m)	
		X	Y			X	Y
1	KC-01	591,9303	2190,9134	4	KC-04	1581,4882	2759,1491
2	KC-02	747,4145	2823,5134	5	KC-05	1435,6873	2369,7526
3	KC-03	1103,988	3112,3871	6	KC-06	1168,8206	2004,9230

Bảng 6. Kết quả phân tích độ ổn định của các mốc (đơn vị: mm)

TT	Tên điểm	Lệch tọa độ		Lệch vị trí	Kết luận	TT	Tên điểm	Lệch tọa độ		Lệch vị trí	Kết luận
		X	Y					X	Y		
1	KC-01	-5,0	-4,0	6,4	Không ỔĐ	4	KC-04	0,0	0,0	0,0	Ổn định
2	KC-03	+3,0	+6,0	6,7	Không ỔĐ	5	KC-05	0,0	0,0	0,0	Ổn định
3	KC-02	0,0	0,0	0,0	Ổn định	6	KC-06	0,0	0,0	0,0	Ổn định

Hiện nhiên là các đại lượng bình sai và đánh giá độ chính xác đều bằng 0, vì các “trị đo” được đưa vào bình sai đều là những trị thực, không có sai số.

5. Kết luận và kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trình bày trong bài báo, có thể rút ra các kết luận và kiến nghị sau đây:

5.1- Khi xử lý lưới khống chế thi công, để tránh ảnh hưởng sai số của các số liệu gốc, cần phải xem lưới như một lưới tự do có số khuyết $d > 0$ và áp dụng phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện để tính toán bình sai lưới. Đồng thời, cũng cần phải lựa chọn điều kiện bổ sung $C^T X = 0$ một cách hợp lý, sao cho lưới thi công được định vị tốt nhất bảo đảm nguyên tắc “*tổng bình phương độ lệch tọa độ (hoặc độ cao) tại các điểm cũ là nhỏ nhất*”.

5.2- Khi xử lý lưới quan trắc biến dạng, cần phải xem lưới như một lưới tự do có số khuyết $d > 0$ và áp dụng phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện với một quy trình tính lặp hợp lý như đã nói ở mục 3.2 để tính toán bình sai lưới. Phương pháp và quy trình tính lặp này cho phép loại bỏ được ảnh hưởng sai số của các số liệu gốc, đồng thời phát hiện được chính xác chuyển dịch của các mốc tại thời điểm xử lý lưới.

5.3- Các kết quả nghiên cứu trong bài báo cũng cho thấy rằng, các thuật ngữ đã sử dụng trước đây như “phương pháp bình sai tự do”

hay “phương pháp bình sai lưới tự do” đều không chặt chẽ. Trong thuật ngữ thứ nhất, “tự do” không giải thích cho phương pháp bình sai. Trong thuật ngữ thứ hai, “lưới tự do” không được chỉ rõ là tự do bậc nào ($d=0$ hay $d > 0$?). Vì vậy, cần phải sử dụng thuật ngữ “phương pháp bình sai lưới tự do $d > 0$ ” trong xử lý lưới trắc địa chuyên dùng mà thực chất là phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Quang Phúc, 2007. Bàn thêm về vấn đề định vị lưới tự do trắc địa công trình. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ-Địa chất số 19, tr. 98-102, Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Quang Phúc, 2010. “Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp thành lập và xử lý số liệu lưới khống chế thi công các công trình xây dựng trong điều kiện Việt Nam”. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ (Bộ Giáo dục và Đào tạo), mã số B2008-02-52.
- [3]. Большаков В. Д., Маркузе Ю. И., Голубев В. В. Уравнивание геодезических построений. Справочное пособие - М: Недра, 1989.-413 с.
- [4]. Маркузе Ю. И. Основы метода наименьших квадратов и уравнительных вычислений. Учебное пособие. М: МИИГАиК, 2005. 280 с.

ABSTRACT

The indirect adjustment method with conditions and the issue of processing specialized geodetic network data in engineering surveying

Nguyen Quang Phuc, Hoang Thi Minh Huong, Hanoi University of Mining and Geology

The processing of specialized geodetic network data in engineering surveying requires ensuring two basic requirements: First, the network must be positioned within the same coordinate (or height) system that was selected in the previous stage. Second, the errors of the original data or movement (if any) of the original points are not allowed to exist in the adjustment results. To ensure the two this requirements, the most effective solution is to apply the indirect adjustment method with conditions to calculate network processing. Theoretical research and experimental calculations in this paper will clarify this issue.