NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN XỬ LÝ SỐ LIỆU ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC PHÂN TÍCH BIẾN DẠNG CÔNG TRÌNH

Lê Anh Cường, Ninh Thị Kim Anh
Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Chuyển dịch và biến dạng công trình được xác định là sự thay đổi tọa độ và độ cao của công trình tại các thời điểm đo đạc khác nhau. Kết quả xử lý số liệu quan trắc biến dạng công trình là cơ sở để đánh giá sự ổn định và an toàn của công trình trong quá trình xây dựng cũng như vận hành. Hiện nay máy tính để bàn hoặc laptop được sử dụng rất nhiều cho công tác xử lý kết quả đo đạc trắc địa. Việc sử dụng những phương pháp và thuật toán đã được lập trình trên máy tính cho phép giải quyết nhanh chóng và đơn giản các bài toán với khối lượng tính toán lớn. Bài báo này nghiên cứu về ứng dụng của phương pháp bình sai truy hồi trong xử lý số liệu để nâng cao hiệu quả công tác phân tích biến dạng công trình. Kết quả thực nghiệm cho thấy thuật toán được đề xuất trong bài báo thực hiện thuận tiện và sau khi bình sai kết hợp các chu kỳ, độ chính xác vị trí các điểm quan trắc sẽ nâng cao.

Từ khóa: Bình sai truy hồi; Thuật toán; Bình sai kết hợp các chu kỳ; Phân tích biến dạng

Abstract

Research on data processing algorithm to enhancing the efficiency of construction structure deformation analysis

The displacement and deformation of the structure is defined as the change of the structure's coordinates and height at different measurement times. The results of deformation monitoring data processing are the basis to evaluate stability and safety of the structure during construction as well as operation. Currently, PC or laptop is widely used in processing the results of geodetic measurements. Using methods and algorithms that have been programmed on a computer can solve problems with huge amount of calculations simply and quickly. The article discusses the application of recurrent method of adjustment in data processing to improve the efficiency of structures deformations analysis. The study results show that the algorithm proposed is convenient to implement. After the adjustment of the combination of cycles, the accuracy of monitoring points will be improved.

Keywords: Recurrent method of equalization; Algorithm; Adjustment of the combination of cycles; Deformation analysis.

1. Đặt vấn đề

Trong thực tế, hiện nay việc quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình ở nước ta vẫn chủ yếu thực hiện theo phương pháp truyền thống từ khâu thiết kế lưới, đo đạc và tính toán xử lý số liệu. Lưới quan trắc biến dạng công trình có đặc thù là dạng lưới đo lặp, mỗi lần đo được gọi là một chu kỳ và sơ đồ lưới thường được giữ nguyên. Sự thay đổi tọa độ và độ cao của công trình (các điểm quan trắc gắn tại công trình) tại các thời điểm đo khác nhau chính là sự chuyển dịch và biến dạng công trình. Vào đầu thế kỉ XX, phương pháp bình sai truy hồi với nhiều ưu điểm và ứng dụng thuận tiện

đã được tiến hành nghiên cứu và áp dụng rộng rãi trong toán học cùng một số ngành khác, trong đó có Trắc địa. Bài báo này sẽ nghiên cứu và đưa ra thuật toán bình sai kết hợp lần lượt các chu kỳ có trị đo lặp lại dựa trên ứng dụng của phương pháp bình sai truy hồi để xử lý số liệu, nâng cao hiệu quả công tác phân tích biến dạng công trình.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Phương pháp bình sai truy hồi

Phương pháp bình truy hồi cho phép tính được ma trận trọng số đảo Q_i của các ẩn số ở bước tính thứ i dựa vào ma trận nghịch đảo Q_{i-1} đã xác định được ở bước tính trước đó (bước i-1) với công thức:

$$Q_i = Q_{i-1} - Z_i^{\mathrm{T}} N_i^{-1} Z_i \qquad (1)$$

trong đó: $Z_i^{\mathrm{T}} = Q_{i-1} A_i^{\mathrm{T}}$

$N_i = P_i^{-1} + A_i Q_{i-1} A_i^{\mathrm{T}} = P_i^{-1} + \mathrm{A}_i Z_i^{\mathrm{T}}.$

A_i - ma trận hệ số phương trình số hiệu chỉnh của nhóm trị đo i,

P_i - ma trận trọng số của nhóm trị đo i.

Trong trường hợp trị đo đơn lẻ, nếu a_i là vectơ hệ số phương trình số hiệu chỉnh thứ i, p_i là trọng số của trị đo thứ i, thì công thức (1) có dạng:

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{1}{g_i} Z_i^{\mathrm{T}} Z_i \qquad (2)$$

với: $Z_i^{\mathrm{T}} = Q_{i-1} a_i^{\mathrm{T}}$

$g_i = p_i^{-1} + a_i Q_{i-1} a_i^{\mathrm{T}} = p_i^{-1} + a_i Z_i^{\mathrm{T}}$

Trong các nghiên cứu trước đây của tác giả, cũng như của các nhà khoa học trong và ngoài nước [1, 2, 3, 5, 6] cho thấy: nếu tính toán từ đầu thì ma trận khởi tính Q_o có thể được tính theo công thức $Q_0 = 10^m . E$ với $m \geq 5$.

2.2. Tiêu chuẩn đánh giá độ ổn định của các mốc cơ sở

Có 2 nguyên nhân dẫn đến sự chênh lệch tọa độ hoặc độ cao (kí hiệu độ lệch này là Δ) của điểm mốc cơ sở trong khoảng thời gian giữa 2 chu kỳ đo là:

- Do dịch chuyển cơ học của mốc (δ_1);

- Do sai số đo trong các chu kỳ quan trắc (δ_1).

Thực tế không thể xác định được giá trị thực ảnh hưởng của mỗi yếu tố trong 2 nguyên nhân nêu trên đến độ lệch Δ mà chỉ có thể đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đó. Việc xây dựng tiêu chuẩn ổn định mốc được dưa trên cơ sở lý luận sau [6, 7]:

Nếu các mốc ổn định (theo nghĩa là δ_1 có giá trị nhỏ không đáng kể so với độ lệch Δ) thì sự khác biệt tọa độ (độ cao) chỉ có thể do sai số đo gây nên, do đó giá trị chênh lệch Δ không thể vượt quá giới hạn của sai số đo (sai số giới hạn xác định độ chênh lệch đó).

Tiêu chuẩn nêu trên được cụ thể hóa bằng biểu thức:

$$q \leq t.m_q \qquad (3)$$

với q và m_q là giá trị chênh lệch và sai số tương ứng; t - hệ số xác định tiêu chuẩn giới hạn, thường được lấy giá trị từ 2 đến 3.

2.3. Thuật toán bình sai kết hợp lần lượt các chu kỳ có trị đo lặp lại

Để bình sai kết hợp chu kỳ quan trắc thứ s với toàn bộ các chu kỳ đo trước đó, trước tiên phải thành lập ma trận trọng số đảo của các ẩn số có dạng như sau:

$$\bar{Q}_s = \begin{pmatrix} Q_{s-1} & 0 \\ 0 & Q_s \end{pmatrix} \qquad (4)$$

trong đó:

- là ma trận trọng số đảo của các ẩn số , đã được xác định sau khi bình sai kết hợp các chu kỳ 1, 2, …, (s-1).

- là ma trận trọng số đảo các ẩn số được xác định sau khi bình sai lưới quan trắc ở chu kỳ s.

Tiếp theo thực hiện tính toán theo công thức của phương pháp bình sai truy hồi cho tất cả các phương trình số hiệu chỉnh:

$$v_x = \delta\bar{x}_{s-i} - \delta x_s + l \qquad (5)$$

được thành lập từ mỗi trục tọa độ cho các điểm quan trắc ổn định tương ứng (coi như đây chính là các phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo thừa với và).

Sử dụng tiêu chuẩn đánh giá mốc cơ sở ở trên để làm cơ sở đánh giá các điểm quan trắc. Lúc này, tiêu chuẩn đánh giá điểm quan trắc ổn định có thể được cụ thể hóa bằng biểu thức:

$$l \le l_{gh} \qquad (6)$$

với:

$$l_{gh} = \pm t\sqrt{m_{\bar{x}_s}^2 + m_{\bar{x}_{s-1}}^2} \qquad (7)$$

trong đó: $m_{x_s}, m_{\bar{x}_{s-1}}$, là sai số trung phương của các ẩn số được xác định sau khi bình sai chu kỳ s và bình sai kết hợp chu kỳ 1,2,… (s-1);

Trong trường hợp thì điểm quan trắc được coi là không ổn định và các phương trình số hiệu chỉnh tương ứng với các điểm đó sẽ không được đưa vào tính toán.

Kết quả sẽ nhận được ma trận trọng số đảo $\bar{Q}_s$ sau khi bình sai kết hợp s chu kỳ, còn vectơ ẩn số được tính theo công thức:

$$\bar{x}_s = x_s - N^{-1}Z^{\mathrm{T}}L \qquad (8)$$

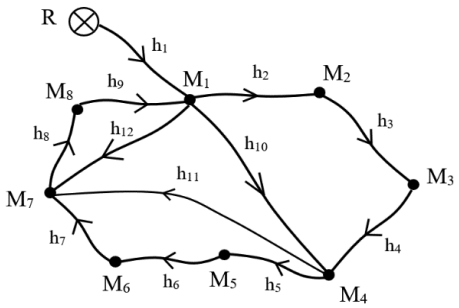
với L - vectơ số hạng tự do trong hệ phương trình số hiệu chỉnh thành lập với các điểm quan trắc ổn định.

3. Kết quả thực nghiệm

Trong phần thực nghiệm, chúng ta sẽ xử lý số liệu 3 chu kỳ đo lưới quan trắc lún khách sạn Bắc Ninh (ngã 6 phường Suối Hoa, thành phố Bắc Ninh, tỉnh Bắc Ninh).

3.1. Số liệu gốc và số liệu đo

Độ cao điểm gốc H_R = 2064.92 mm và sơ đồ lưới (Hình 1) tại 3 chu kỳ đo không thay đổi.



Hình 1: Sơ đồ lưới quan trắc lún khách sạn Bắc Ninh

Số liệu đo ở các chu kỳ được trình bày trong Bảng 1

Bảng 1. Số liệu đo tại các chu kỳ

STT	Chênh cao đo (mm)	Giá trị chênh cao đo (mm)			Số trạm máy		
		CK1	CK2	CK3	CK1	CK2	CK3
1	h_1	-3420.23	-3420.86	-3420.66	6	6	6
2	h_2	-23.81	-22.91	-25.42	2	2	2
3	h_3	-0.76	-0.74	-1.15	2	2	2
4	h_4	30.54	30.32	32.92	2	2	2
5	h_5	-32.82	-32.79	-32.72	2	2	2
6	h_6	7.64	7.56	7.41	2	2	2
7	h_7	29.2	29.07	28.96	1	1	1
8	h_8	1.88	1.69	1.64	1	1	1
9	h_9	-11.14	-11.04	-11.09	1	1	1
10	h_{10}	5.72	6.41	6.71	2	2	2
11	h_{11}	2.98	2.85	2.55	2	2	2
12	h_{12}	9.21	9.63	9.63	2	2	2

3.2. Kết quả tính toán

** Chu kỳ 1:*

Sau khi bình sai, nhận được ma trận nghịch đảo Q_1 tại chu kỳ 1 và độ cao các điểm quan trắc sau bình sai (Bảng 2):

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 \\ 6.000 & 7.436 & 6.873 & 6.309 & 6.236 & 6.164 & 6.127 & 6.064 \\ 6.000 & 6.873 & 7.745 & 6.618 & 6.473 & 6.327 & 6.255 & 6.127 \\ 6.000 & 6.309 & 6.618 & 6.927 & 6.709 & 6.491 & 6.382 & 6.191 \\ 6.000 & 6.236 & 6.473 & 6.709 & 7.836 & 6.964 & 6.527 & 6.264 \\ 6.000 & 6.164 & 6.327 & 6.491 & 6.964 & 7.436 & 6.673 & 6.336 \\ 6.000 & 6.127 & 6.255 & 6.382 & 6.527 & 6.673 & 6.745 & 6.373 \\ 6.000 & 6.064 & 6.127 & 6.191 & 6.264 & 6.336 & 6.373 & 6.686 \end{bmatrix}$$

Bảng 2. Độ cao điểm quan trắc sau bình sai tại chu kỳ 1

STT	Tên điểm	Độ cao (mm)	Sai số trung phương độ cao điểm (mm)
1	M_1	2063.390	0.506
2	M_2	2039.540	0.563
3	M_3	2038.740	0.575
4	M_4	2069.239	0.544
5	M_5	2036.148	0.578
6	M_6	2043.516	0.563
7	M_7	2072.580	0.537
8	M_8	2074.495	0.534

Sai số trung phương trọng số đơn vị:

** Chu kỳ 2:*

Sau khi bình sai, nhận được ma trận nghịch đảo Q_2 tại chu kỳ 2 và độ cao các điểm quan trắc sau bình sai (Bảng 3):

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 \\ 6.000 & 7.436 & 6.873 & 6.309 & 6.236 & 6.164 & 6.127 & 6.064 \\ 6.000 & 6.873 & 7.745 & 6.618 & 6.473 & 6.327 & 6.255 & 6.127 \\ 6.000 & 6.309 & 6.618 & 6.927 & 6.709 & 6.491 & 6.382 & 6.191 \\ 6.000 & 6.236 & 6.473 & 6.709 & 7.836 & 6.964 & 6.527 & 6.264 \\ 6.000 & 6.164 & 6.327 & 6.491 & 6.964 & 7.436 & 6.673 & 6.336 \\ 6.000 & 6.127 & 6.255 & 6.382 & 6.527 & 6.673 & 6.745 & 6.373 \\ 6.000 & 6.064 & 6.127 & 6.191 & 6.264 & 6.336 & 6.373 & 6.686 \end{bmatrix}$$

Bảng 3. Độ cao điểm quan trắc sau bình sai tại chu kỳ 2

STT	Tên điểm	Độ cao (mm)	Sai số trung phương độ cao điểm (mm)
1	M_1	2062.760	0.507
2	M_2	2039.770	0.565
3	M_3	2038.950	0.576
4	M_4	2069.190	0.545
5	M_5	2036.100	0.580
6	M_6	2043.360	0.565
7	M_7	2072.280	0.538
8	M_8	2073.885	0.536

Sai số trung phương trọng số đơn vị:

Trong ví dụ này, tác giả chọn t = 2.5 để đánh giá sự ổn định của điểm quan trắc. Dựa trên cơ sở độ cao các điểm sau bình sai và sai số trung phương độ cao điểm của 2 chu kỳ 1, 2, nhận được kết quả phân tích sự ổn định của điểm quan trắc để tiến hành bình sai kết hợp chu kỳ 1, 2 trong Bảng 4:

Bảng 4. Kết quả phân tích sự ổn định của điểm quan trắc tại chu kỳ 2 để tiến hành bình sai kết hợp chu kỳ 1, 2

STT	Tên điểm	l (mm)	l_{gh} (mm)	Phân tích
1	M_1	+ 0.630	± 1.792	Ổn định
2	M_2	- 0.230	± 1.995	Ổn định
3	M_3	- 0.210	± 2.036	Ổn định
4	M_4	+ 0.049	± 1.925	Ổn định
5	M_5	+ 0.048	± 2.047	Ổn định
6	M_6	+ 0.156	± 1.995	Ổn định
7	M_7	+ 0.300	± 1.900	Ổn định
8	M_8	+ 0.610	± 1.891	Ổn định

Kết quả cho thấy các điểm quan trắc đều được coi là ổn định nên để bình sai kết hợp chu kỳ cần thành lập phương trình số hiệu chỉnh cho toàn bộ các điểm như theo công thức (5).

Ma trận nghịch đảo khởi đầu cho việc bình sai kết hợp chu kỳ được thành lập như công thức (4). Sau đó sử dụng công thức bình sai truy hồi để tính ma trận nghịch đảo sau khi bình sai kết hợp 2 chu kỳ.

Kết quả ma trận (khối ma trận 8 * 8 ở phía dưới bên phải ma trận có kích thước 16 * 16 vừa tính được) như sau:

$$\bar{Q}_2 = \begin{bmatrix} 3.000 & 3.000 & 3.000 & 3.000 & 3.000 & 3.000 & 3.000 & 3.000 \\ 3.000 & 3.718 & 3.436 & 3.155 & 3.118 & 3.082 & 3.064 & 3.032 \\ 3.000 & 3.436 & 3.873 & 3.309 & 3.236 & 3.164 & 3.127 & 3.064 \\ 3.000 & 3.155 & 3.309 & 3.464 & 3.355 & 3.245 & 3.191 & 3.095 \\ 3.000 & 3.118 & 3.236 & 3.355 & 3.918 & 3.482 & 3.264 & 3.132 \\ 3.000 & 3.082 & 3.164 & 3.245 & 3.482 & 3.718 & 3.336 & 3.168 \\ 3.000 & 3.064 & 3.127 & 3.191 & 3.264 & 3.336 & 3.373 & 3.186 \\ 3.000 & 3.032 & 3.064 & 3.095 & 3.132 & 3.168 & 3.186 & 3.343 \end{bmatrix}$$

Từ việc so sánh các phần tử trên đường chéo của 2 ma trận Q_2 và cho thấy việc bình sai kết hợp 2 chu kỳ cho phép nâng cao độ chính xác độ cao điểm quan trắc.

Kết quả độ cao điểm quan trắc sau khi bình sai kết hợp 2 chu kỳ 1, 2 được đưa ra trong Bảng 5:

Bảng 5. Độ cao điểm quan trắc sau bình sai kết hợp 2 chu kỳ 1, 2

STT	Tên điểm	Độ cao (mm)	Sai số trung phương độ cao điểm (mm)
1	M_1	2063.075	0.359
2	M_2	2039.655	0.399
3	M_3	2038.845	0.408
4	M_4	2069.215	0.385
5	M_5	2036.124	0.410
6	M_6	2043.438	0.399
7	M_7	2072.430	0.380
8	M_8	2074.190	0.379

** Chu kỳ 3:*

Sau khi bình sai, nhận được ma trận nghịch đảo Q_3 tại chu kỳ 3 và độ cao các điểm quan trắc sau bình sai (Bảng 6):

$$Q_3 = \begin{bmatrix} 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 & 6.000 \\ 6.000 & 7.436 & 6.873 & 6.309 & 6.236 & 6.164 & 6.127 & 6.064 \\ 6.000 & 6.873 & 7.745 & 6.618 & 6.473 & 6.327 & 6.255 & 6.127 \\ 6.000 & 6.309 & 6.618 & 6.927 & 6.709 & 6.491 & 6.382 & 6.191 \\ 6.000 & 6.236 & 6.473 & 6.709 & 7.836 & 6.964 & 6.527 & 6.264 \\ 6.000 & 6.164 & 6.327 & 6.491 & 6.964 & 7.436 & 6.673 & 6.336 \\ 6.000 & 6.127 & 6.255 & 6.382 & 6.527 & 6.673 & 6.745 & 6.373 \\ 6.000 & 6.064 & 6.127 & 6.191 & 6.264 & 6.336 & 6.373 & 6.686 \end{bmatrix}$$

Bảng 6. Độ cao điểm quan trắc sau bình sai tại chu kỳ 3

STT	Tên điểm	Độ cao (mm)	Sai số trung phương độ cao điểm (mm)
1	M_1	2062.960	0.545
2	M_2	2037.637	0.607
3	M_3	2036.584	0.619
4	M_4	2069.601	0.585
5	M_5	2036.575	0.623
6	M_6	2043.679	0.607
7	M_7	2072.486	0.578
8	M_8	2074.088	0.575

Sai số trung phương trọng số đơn vị:

Trong ví dụ này, tác giả chọn t = 2.5 để đánh giá sự ổn định của điểm quan trắc. Dựa trên cơ sở kết quả độ cao các điểm sau bình sai và sai số trung phương độ cao điểm của hợp nhất chu kỳ 1, 2 và của chu kỳ 3, nhận được kết quả phân tích sự ổn định của điểm quan trắc để tiến hành bình sai kết hợp các chu kì 1, 2, 3 trong Bảng 7:

Bảng 7. Kết quả phân tích sự ổn định của điểm quan trắc tại chu kỳ 3 để tiến hành bình sai kết hợp các chu kỳ 1, 2, 3

STT	Tên điểm	l (mm)	l_{gh} (mm)	Phân tích
1	M_1	+ 0.115	± 1.631	Ổn định
2	M_2	+ 2.018	± 1.816	Không ổn định
3	M_3	+ 2.261	± 1.853	Không ổn định
4	M_4	- 0.387	± 1.752	Ổn định
5	M_5	- 0.451	± 1.864	Ổn định
6	M_6	- 0.241	± 1.816	Ổn định
7	M_7	- 0.056	± 1.729	Ổn định
8	M_8	+ 0.102	± 1.722	Ổn định

Kết quả cho thấy các điểm quan trắc M_1, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8, được coi là ổn định và điểm M_2, M_3 không ổn định nên để bình sai kết hợp chu kỳ chỉ thành lập phương trình số hiệu chỉnh cho các điểm M_1, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8 như theo công thức (5).

Ma trận nghịch đảo khởi đầu cho việc bình sai kết hợp chu kỳ được thành lập như công thức (4). Sau đó sử dụng công thức bình sai truy hồi để tính ma trận nghịch đảo sau khi bình sai kết hợp 2 chu kỳ.

Kết quả ma trận (khối ma trận 8 * 8 ở phía dưới bên phải ma trận có kích thước 16 * 16 vừa tính được) như sau:

$$\bar{Q}_3 = \begin{bmatrix} 2.000 & 2.000 & 2.000 & 2.000 & 2.000 & 2.000 & 2.000 & 2.000 \\ 2.000 & 3.368 & 2.735 & 2.103 & 2.079 & 2.055 & 2.042 & 2.021 \\ 2.000 & 2.735 & 3.471 & 2.206 & 2.158 & 2.109 & 2.085 & 2.042 \\ 2.000 & 2.103 & 2.206 & 2.309 & 2.236 & 2.164 & 2.127 & 2.064 \\ 2.000 & 2.079 & 2.158 & 2.236 & 2.612 & 2.321 & 2.176 & 2.088 \\ 2.000 & 2.055 & 2.109 & 2.164 & 2.321 & 2.479 & 2.224 & 2.112 \\ 2.000 & 2.042 & 2.085 & 2.127 & 2.176 & 2.224 & 2.248 & 2.124 \\ 2.000 & 2.021 & 2.042 & 2.064 & 2.088 & 2.112 & 2.124 & 2.229 \end{bmatrix}$$

Từ việc so sánh các phần tử trên đường chéo của 2 ma trận Q_3 và cho thấy việc bình sai kết hợp các chu kỳ cho phép nâng cao độ chính xác độ cao điểm quan trắc.

Kết quả độ cao điểm quan trắc sau khi bình sai kết hợp 3 chu kỳ 1, 2, 3 được đưa ra trong Bảng 8:

Bảng 8. Độ cao điểm quan trắc sau bình sai kết hợp các chu kỳ 1, 2, 3

STT	Tên điểm	Độ cao (mm)	Sai số trung phương độ cao điểm (mm)
1	M_1	2063.037	0.315
2	M_2	2037.602	0.408
3	M_3	2036.438	0.414
4	M_4	2069.344	0.338
5	M_5	2036.274	0.360
6	M_6	2043.518	0.350
7	M_7	2072.449	0.334
8	M_8	2074.156	0.332

Kết quả độ cao sau bình sai của các điểm quan trắc của chu kỳ 1, kết hợp chu kì 1, 2 và kết hợp chu kỳ 1, 2, 3 được đưa ra trong Bảng 9:

Bảng 9. Độ cao điểm quan trắc sau bình sai của chu kỳ 1, kết hợp chu kì 1, 2 và kết hợp chu kỳ 1, 2, 3

STT	Tên điểm	Độ cao (mm)		
		Chu kỳ 1	Kết hợp chu kỳ 1, 2	Kết hợp chu kỳ 1, 2, 3
1	M_1	2063.390	2063.075	2063.037
2	M_2	2039.540	2039.655	2037.602
3	M_3	2038.740	2038.845	2036.438
4	M_4	2069.239	2069.215	2069.344
5	M_5	2036.148	2036.124	2036.274
6	M_6	2043.516	2043.438	2043.518
7	M_7	2072.580	2072.430	2072.449
8	M_8	2074.495	2074.190	2074.156

Dựa vào kết quả độ cao sau bình sai của các điểm quan trắc ở Bảng 9, có thể tiến hành phân tích và đưa ra các nhận xét cụ thể về sự biến dạng của công trình khách sạn Bắc Ninh

4. Kết luận

Thuật toán bình sai kết hợp lần lượt các chu kỳ có trị đo lặp lại dựa trên cơ sở của phương pháp bình sai truy hồi được trình bày trong bài báo này đơn giản và dễ sử dụng.

Sau khi áp dụng thuật toán này đã cho ra kết quả độ cao của các điểm quan trắc sau mỗi lần bình sai kết hợp các chu kỳ quan trắc lún và kết quả thực nghiệm cho thấy độ chính xác độ cao của các điểm quan trắc đã được tăng lên.

Chúng ta có thể sử dụng các kết quả độ cao sau khi bình sai kết hợp các chu kỳ làm cơ sở để đưa ra các nhận xét cụ thể về sự biến dạng của công trình. Từ đó nâng cao hiệu quả trong công tác phân tích biến dạng công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Маркузе Ю. И (1989). *Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на* ЭВМ. – М.: Недра.

[2]. Маркузе Ю. И., Голубев В. В (2010). *Теория математической обработки геодезических измерений: Учеб. пособие для вузов* / Под общ. ред. Ю. И. Маркузе. М.: Академический Проект Альма Матер.

[3]. Маркузе Ю.И., Лэ Ань Куонг, Чан Тиен Ранг (2016). *Исследование исходной матрицы обратных весов неизвестных при рекуррентном способе уравнивания измерений // Геодезия и картография*. № 11. -С. 7-10. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-917-11-7-10.

[4]. Маркузе Ю.И., (2017). *Лэ Ань Куонг. Исследование алгоритма для анализа деформаций геодезических пунктов при наблюдении за горизонтальными смещениями гидротехнических сооружений* // Геодезия и картография. Т. 78. - № 7. - С. 23 - 30. DOI: 10.22389/0016-7126-2017-925-7-23-30.

[5]. Lê Anh Cường (2013). *Nghiên cứu ứng dụng phương pháp bình sai truy hồi trong xử lý số liệu lưới trắc địa*. Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường, Số 01.

[6]. Lê Đức Tình (2012). *Nghiên cứu giải pháp nâng cao hiệu quả công tác quan trắc biến dạng công trình ở Việt Nam*. Luận án tiến sĩ, Hà Nội.

[7]. Trần Khánh, Nguyễn Quang Phúc (2010). *Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình*. NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.

BBT nhận bài: 28/8/2020; Phản biện xong: 04/9/2020; Chấp nhận đăng: 28/9/2020