

GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG CÔNG TÁC QUAN TRẮC ĐỘ LÚN CÔNG TRÌNH

PGS.TS. TRẦN KHÁNH

Trường Đại học Mở - Địa chất

TS. TRẦN NGỌC ĐÔNG

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Bài báo có nội dung trình bày phương pháp đánh giá phương án thiết kế lưới độ cao quan trắc độ lún và phương pháp xử lý số liệu hệ thống lưới độ cao quan trắc độ lún nhằm nâng cao chất lượng công tác quan trắc độ lún công trình. Quy trình và thuật toán xử lý số liệu trình bày trong bài báo có tính chặt chẽ, thuận tiện triển khai ứng dụng trong thực tế sản xuất.

Abstract: The article presents the method of assessing the vertical network design for settlement monitoring and the method of data processing for this network to improve the quality of settlement monitoring work. Process and data processing algorithms presented in the article are logical, convenient to apply in practice.

1. Đặt vấn đề

Trong quan trắc độ lún công trình ở nước ta hiện nay công tác đánh giá phương án thiết kế lưới quan trắc chưa được chú trọng đúng mức cho nên dẫn tới tình trạng kết quả quan trắc có thể không đạt được độ chính xác cần thiết theo yêu cầu của thiết kế. Mặt khác, trong quá trình xử lý số liệu hệ thống lưới độ cao quan trắc độ lún thường xử lý tách biệt lưới độ cao cơ sở và lưới độ cao quan trắc (trong trường hợp sử dụng hệ thống lưới gồm 2 bậc lưới); lưới độ cao cơ sở được xử lý theo phương pháp bình sai lưới tự do để phân tích đánh giá độ ổn định của các mốc chuẩn, lưới độ cao quan trắc được xử lý theo phương pháp bình sai lưới phụ thuộc, điều này dẫn tới mạng lưới độ cao quan trắc ít nhiều vẫn còn chịu ảnh hưởng sai số số liệu gốc (sai số độ cao của các mốc chuẩn), trong thực tế yêu cầu độ chính xác quan trắc độ lún thường là rất cao và do đó lưới độ cao cơ sở và lưới độ cao quan trắc được thiết kế với độ chính xác gần tương đương nhau. Vì vậy, xây dựng quy trình đánh giá phương án thiết kế lưới quan trắc kết hợp với xây dựng quy trình xử lý số liệu hệ thống lưới quan trắc

một cách thích hợp cần được thực hiện để nâng cao chất lượng công tác quan trắc độ lún công trình.

2. Giải pháp nâng cao chất lượng công tác quan trắc độ lún công trình

2.1 Đánh giá phương án thiết kế lưới quan trắc

Để có cơ sở lựa chọn cấp hạng, thiết bị và quy trình đo lưới độ cao thiết kế thì cần phải đánh giá phương án thiết kế lưới quan trắc. Quy trình đánh giá phương án thiết kế lưới độ cao quan trắc độ lún được thực hiện theo các bước sau:

Bước 1: Căn cứ vào nhiệm vụ quan trắc tiến hành xác định số lượng mốc chuẩn, số lượng mốc quan trắc và yêu cầu độ chính xác quan trắc độ lún (m_S). Từ yêu cầu độ chính xác quan trắc độ lún (m_S) tiến hành tính toán xác định độ chính xác đối với sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất cần đạt được để đảm bảo độ chính xác quan trắc độ lún đề ra.

Trong trường hợp thiết kế 01 bậc lưới quan trắc thì độ cao của các điểm phải được xác định với sai số về độ cao không vượt quá giá trị xác định theo công thức (1):

$$m_H = \frac{m_S}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

trong đó:

m_H - sai số trung phương độ cao của điểm quan trắc;

m_S - độ chính xác yêu cầu quan trắc độ lún.

Trong trường hợp thiết kế lưới 2 bậc: sai số trung phương độ cao của điểm mốc chuẩn (ký hiệu m_{Hmc}) và sai số trung phương độ cao của điểm quan trắc (ký hiệu m_{Hqt}) được tính như sau:

- Đối với lưới độ cao cơ sở (lưới độ cao gồm các mốc chuẩn đo nối với nhau):

$$m_{Hmc} = \frac{m_S}{\sqrt{2(1 + k^2)}} \quad (2)$$

- Đối với lưới độ cao quan trắc:

$$m_{H_{qt}} = \frac{k \cdot m_s}{\sqrt{2(1 + k^2)}} \quad (3)$$

Trong công thức (2) và (3): k là hệ số suy giảm độ chính xác giữa các bậc lưới (k thường chọn bằng 2).

Bước 2: Thiết kế sơ đồ lưới quan trắc bao gồm đầy đủ các mốc chuẩn, mốc quan trắc, vẽ chênh cao (trên mỗi chênh cao vẽ mũi tên để xác định điểm đầu và điểm cuối của chênh cao đo) xác định số trạm dự kiến trên các chênh cao đo và dự kiến thiết bị sử dụng để tiến hành đo đạc quan trắc lún (xác định độ chính xác của thiết bị dự kiến sử dụng).

Bước 3: Xác định sai số trung phương độ cao của các điểm trong lưới theo trình tự sau:

1. Chọn ẩn số trong lưới: Đối với lưới độ cao phụ thuộc - ẩn số được chọn là độ cao của các điểm cần xác định trong lưới; đối với lưới độ cao tự do - ẩn số được chọn là độ cao của tất cả các điểm trong lưới; ẩn số ký hiệu là δX .

2. Lập ma trận hệ số (A) của hệ phương trình số hiệu chỉnh:

$$A\delta X + L = V \quad (4)$$

Xác định trọng số của véc tơ các đại lượng đo:

$$P_i = \frac{1}{L_i} \text{ hoặc } P_i = \frac{1}{n_i} \quad (5)$$

trong đó: L_i , n_i tương ứng là chiều dài và số trạm đo trong tuyến thủy chuẩn.

3. Lập ma trận hệ số (R) của hệ phương trình chuẩn:

$$R = A^T P A \quad (6)$$

4. Tính ma trận nghịch đảo

$$Q = R^{-1} = (A^T P A)^{-1} \quad (7)$$

Trong trường hợp thiết kế lưới 1 bậc và được coi là lưới tự do thì thay cho ma trận nghịch đảo Q cần sử dụng ma trận giả nghịch đảo R^- , được tính theo công thức:

$$R^- = (R + C P_0 C^T)^{-1} - T P_0^{-1} T^T \quad (8)$$

với:

$$T = B(C^T B)^{-1} \quad (9)$$

$$B = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T \quad (10)$$

5. Tính các chỉ tiêu sai số của lưới:

Trường hợp tổng quát, ước tính lưới được dựa trên công thức sai số trung phương của hàm số sau bình sai:

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} \quad (11)$$

Sai số trung phương ẩn số được tính theo công thức:

$$m_{X_i} = m_{H_i} = \mu \sqrt{Q_{ii}} \quad (12)$$

Bước 4: Tiến hành so sánh các giá trị m_{H_i} tính được theo công thức (12) với giá trị tính theo công thức (1) (trường hợp thiết kế lưới 1 bậc) hoặc so với giá trị tính theo công thức (3) (trường hợp thiết kế hệ thống lưới quan trắc gồm 2 bậc). Nếu giá trị tính được theo công thức (12) lớn hơn giá trị tính theo công thức (1) hoặc công thức (3) thì cần tiến hành điều chỉnh kết cấu đồ hình lưới quan trắc hoặc lựa chọn thiết bị có độ chính xác cao hơn hoặc điều chỉnh cả kết cấu đồ hình lưới và lựa chọn thiết bị có độ chính xác cao hơn cho đến khi giá trị tính theo công thức (12) được thỏa mãn về yêu cầu độ chính xác đề ra. Trong trường hợp đánh giá phương án thiết kế lưới độ cao cơ sở thì áp dụng thuật toán ước tính lưới độ cao tự do sau đó so sánh các giá trị m_{H_i} tính được sau khi ước tính với giá trị m_H tính theo công thức (2) để đánh giá chất lượng lưới thiết kế.

2.2 Phương pháp và thuật toán xử lý hệ thống lưới độ cao quan trắc lún

Xử lý số liệu hệ thống lưới độ cao quan trắc lún thường được thực hiện theo 2 bước là xử lý tách biệt bậc lưới độ cao cơ sở và bình sai bậc lưới độ cao quan trắc (trong trường hợp sử dụng hệ thống lưới gồm 2 bậc). Lưới độ cao cơ sở được xử lý theo phương pháp bình sai lưới tự do để phân tích độ ổn định của các mốc chuẩn, lưới độ cao quan trắc được xử lý theo phương pháp bình sai phụ thuộc, điều này dẫn tới mạng lưới độ cao quan trắc ít nhiều vẫn còn chịu ảnh hưởng sai số số liệu gốc (sai số độ cao của các mốc chuẩn). Trong thực tế yêu cầu độ chính xác quan trắc lún thường là rất cao và do đó lưới độ cao cơ sở và lưới độ cao quan trắc được thiết kế với độ chính xác gần tương đương nhau. Vì vậy, phương pháp thích hợp hơn cả để xử lý số liệu hệ thống lưới quan trắc lún công trình là bình sai kết hợp 2 bậc lưới như một mạng

lưới tự do duy nhất. Phương pháp bình sai này cho phép giải quyết đồng thời 2 nhiệm vụ là phân tích độ ổn định các mốc chuẩn và tính độ cao các mốc quan trắc. Hệ thống thuật toán và quy trình tính được triển khai như sau [1]:

1- Chọn ẩn số là số hiệu chỉnh độ cao của tất cả các điểm trong lưới, kí hiệu véc tơ ẩn số là δX với véc tơ độ cao gần đúng là X_0 (X_0 cần được chọn bằng véc tơ độ cao sau bình sai xác định trong chu kỳ lấy làm gốc so sánh).

2- Lập hệ phương trình số hiệu chỉnh theo công thức:

$$A\delta X + L = V \quad (13)$$

trong đó: A là ma trận hệ số, δX , V, L tương ứng là các véc tơ ẩn số, số hiệu chỉnh và số hạng tự do.

3- Trên cơ sở công thức (13) thành lập hệ phương trình chuẩn:

$$R\delta X + b = 0 \quad (14)$$

với: $R = A^T P A$; $b = A^T P L$;

Ma trận R của hệ phương trình chuẩn suy biến, tức là: $\text{Det}(R) = 0$ nên không thể giải được theo phương pháp thông thường do có vô số nghiệm.

4- Để xác định véc tơ nghiệm riêng cần đưa vào một hệ điều kiện ràng buộc đối với véc tơ ẩn số, dạng [1, 3]:

$$C^T \delta X = 0 \quad (15)$$

5- Trên cơ sở hệ phương trình (14) và (15) xác định được véc tơ nghiệm:

$$\delta X = -R^{-1} b \quad (16)$$

trong đó, ma trận giả nghịch đảo R^{-1} được tính theo công thức:

$$R^{-1} = (R + C P_0 C^T)^{-1} - T P_0^{-1} T^T \quad (17)$$

với:

$$T = B(C^T B)^{-1} \quad (18)$$

Ma trận phụ trợ B được tính theo công thức [1]:

$$B = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T \quad (19)$$

Đánh giá độ chính xác được thực hiện theo các công thức thông thường tương tự như trong phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện:

- Sai số trung phương đơn vị trọng số:

$$\mu = \sqrt{\frac{V^T P V}{N - k + 1}} \quad (20)$$

trong các công thức trên: $N - k + 1$ là số lượng trị đo

thừa trong lưới.

- Sai số trung phương độ cao điểm:

$$m_{x_i} = \mu \sqrt{R_{ii}} \quad (21)$$

2.3 Quy trình tính toán bình sai kết hợp lưới độ cao cơ sở và lưới độ cao quan trắc

Các phương pháp xử lý số liệu lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình có điểm chung là đều được thực hiện theo thuật toán bình sai lưới độ cao tự do, trong đó điều kiện định vị (15) được chọn tùy thuộc vào giả thiết về độ ổn định của các mốc chuẩn trong lưới. Có thể phân chia các phương pháp phân tích độ ổn định mốc chuẩn thành 2 nhóm [4]. Trong nhóm 1 gồm có các phương pháp dựa trên giả thiết về độ cao không đổi của mốc chuẩn ổn định nhất [6], trong nhóm 2 có các phương pháp dựa trên giả định về độ cao trung bình không đổi của cả cụm hoặc một nhóm mốc chuẩn [5].

Trong bài báo này chúng tôi khảo sát quy trình bình sai kết hợp 2 bậc lưới độ cao trong quan trắc lún với nguyên tắc: “Độ cao trung bình của các mốc chuẩn ổn định không thay đổi so với chu kỳ gốc”, Để thực hiện điều này cần chọn các thành phần của ma trận C trong công thức (15) như sau [1]:

$$C = \begin{cases} 1 - \text{Đối với các mốc chuẩn ổn định} \\ 0 - \text{Đối với các mốc khác} \end{cases} \quad (22)$$

Mốc chuẩn được coi là ổn định nếu thỏa mãn điều kiện:

$$|S_i| \leq t.m_{S_i} \quad (23)$$

Trong đó: S_i và m_{S_i} là độ trôi lún và sai số xác định độ trôi lún của mốc chuẩn thứ i, t là hệ số chuyển đổi từ sai số trung phương sang sai số giới hạn (t thường được chọn trong khoảng từ 2 đến 3).

Sau bình sai lưới độ cao cơ sở, giá trị tính được theo công thức (23) thường không giống nhau đối với các điểm trong lưới. Vì vậy, có thể dựa vào sai số trung phương cần thiết để xác định độ lún đối với các điểm mốc chuẩn ($m_{S_{mc}}$) để xác định tiêu chuẩn thống nhất chung cho toàn bộ các điểm của mạng lưới, khi đó tiêu chuẩn (23) sẽ được viết lại là:

$$|S_i| \leq t.m_{S_{mc}} \quad (24)$$

Dựa trên yêu cầu độ chính xác quan trắc lún, các mốc chuẩn được coi là ổn định khi:

$$|S_i| \leq t \cdot \frac{m_s}{\sqrt{1+k^2}} \quad (25)$$

Trong công thức (25): S_i - độ trôi lún của mốc chuẩn ở chu kỳ đang xét so với chu kỳ đầu; m_s - yêu cầu độ chính xác quan trắc lún; t - là hệ số chuyển đổi từ sai số trung phương sang sai số giới hạn ($t = 2\div 3$); k - hệ số suy giảm độ chính xác giữa các bậc lưới ($k = 2\div 3$).

Trên cơ sở đó, xác định được quy trình tính

$$C_0 = \left[\begin{array}{cccccccc} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{array} \right]^T \quad (26)$$

↔ Mốc cơ sở
↔ Mốc quan trắc

Bước 3: Giải hệ phương trình chuẩn với điều kiện C đã chọn, xác định véc tơ ẩn số và tính độ lệch độ cao các mốc so với số liệu ở chu kỳ được lấy làm mức so sánh.

Bước 4: Có thể xảy ra một trong hai khả năng:

1- Nếu phát hiện một số mốc chuẩn không ổn định thì sẽ loại một mốc có độ lệch lớn nhất (giả định là điểm i) ra khỏi tập hợp mốc chuẩn bằng cách gán $C_i = 0$ và quay lại thực hiện từ bước 3.

2- Nếu các mốc chuẩn còn lại đều ổn định thì việc kiểm tra được dừng lại và thực hiện định vị lưới theo các mốc chuẩn đó.

3. Thực nghiệm

Để minh chứng cho phần lý thuyết nêu trên, trong phần thực nghiệm này chúng tôi tiến hành thực nghiệm đánh giá phương án thiết kế lưới và thực nghiệm xử lý tính toán bình sai kết hợp lưới độ cao cơ sở và lưới độ cao quan trắc lún cho một công trình nhà cao tầng ở ngoài sản xuất gồm 03 mốc chuẩn và 16 mốc quan trắc.

3.1 Thực nghiệm đánh giá phương án thiết kế lưới

Nhận nhiệm vụ quan trắc lún 1 công trình nhà cao tầng với yêu cầu độ chính xác quan trắc lún $m_s = 1.0$ mm, mốc chuẩn quan trắc gồm có 03 mốc chuẩn ký hiệu là R1, R2, R3; mốc quan trắc lún gồm

toán bình sai đồng thời với việc phân tích độ ổn định mốc chuẩn như sau:

Bước 1: Trên cơ sở véc tơ trị đo, lập hệ phương trình số hiệu chỉnh và hệ phương trình chuẩn đối với mạng lưới.

Bước 2: Giả định tất cả các mốc chuẩn trong lưới là ổn định, chọn ma trận định vị khởi đầu:

16 mốc ký hiệu từ M1 đến M16.

Tiến hành thực hiện đánh giá phương án thiết kế lưới:

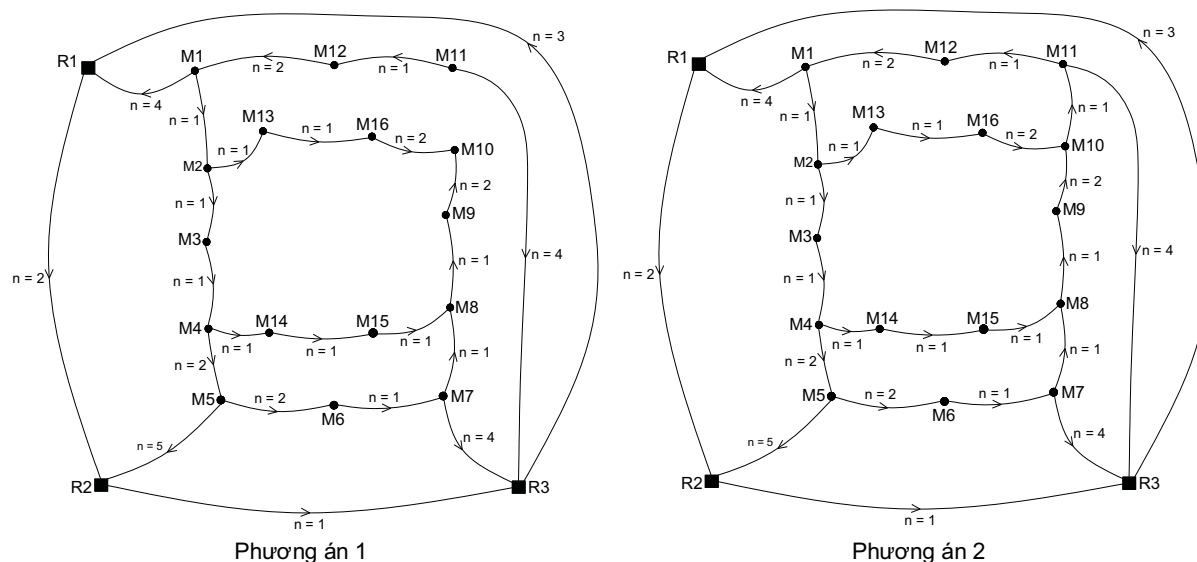
Bước 1:

- Xác định số lượng mốc chuẩn (03 mốc), số lượng mốc quan trắc (16 mốc) và độ chính xác quan trắc lún ($m_s = 1.0$ mm);

- Tính toán sai số trung phương độ cao đối với các bậc lưới: Trong thực nghiệm này hệ thống lưới độ cao quan trắc lún được thiết kế gồm 2 bậc, áp dụng công thức (2) và công thức (3) tính được $m_{Hmc} = 0.32$ mm, $m_{Hqt} = 0.63$ mm.

Bước 2:

Trên bản vẽ mặt bằng bố trí mốc chuẩn và mốc quan trắc, dự kiến số chênh cao đo nối các điểm, xác định chiều đi của đường đo chênh cao, số trạm máy trên mỗi chênh cao đo, xác định thiết bị dự kiến sử dụng (thiết bị dự kiến sử dụng trong trường hợp có độ chính xác 0.25 mm trên 1 trạm đo). Đối với thực nghiệm này sơ đồ quan trắc được thể hiện trên phương án 1 - hình 1, mạng lưới được thiết kế gồm 25 chênh cao đo, số trạm đo trên mỗi chênh cao đo được ký hiệu là n, mũi tên trên sơ đồ chỉ chiều đi của đường đo chênh cao.



Hình 1. Thiết kế sơ đồ lưới quan trắc lún

Bước 3: Xác định sai số trung phương độ cao của các điểm trong lưới:

Quá trình xác định sai số trung phương độ cao

của các điểm trong lưới phương án 1 được thực hiện bằng phần mềm chuyên ngành. Kết quả tính toán được đưa ra trong bảng 1 và bảng 2.

Bảng 1. Thông số của mạng lưới – Phương án 1

STT	Tên tham số	Giá trị	STT	Tên tham số	Giá trị
1	Tổng số điểm	19	4	Số chênh cao đo	25
2	Số điểm mốc chuẩn	3	5	Sai số đo chênh cao trên 1 trạm	0.25 mm
3	Số điểm quan trắc	16			

Bảng 2. Kết quả ước tính sai số trung phương độ cao điểm – Phương án 1

Phương án 1					
STT	Tên điểm	Sai số $m_H(\text{mm})$	STT	Tên điểm	Sai số $m_H(\text{mm})$
1	M1	0.30	9	M9	0.46
2	M2	0.32	10	M10	0.58
3	M3	0.32	11	M11	0.53
4	M4	0.36	12	M12	0.46
5	M5	0.35	13	M13	0.35
6	M6	0.34	14	M14	0.40
7	M7	0.34	15	M15	0.40
8	M8	0.38	16	M16	0.68

Sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất (M16): $m_H(M16) = 0.68 \text{ mm}$

Kết quả ước tính sơ đồ lưới phương án 1 cho thấy chỉ có điểm M16 có sai số trung phương độ cao không đạt yêu cầu độ chính xác đề ra ($m_H(M16) = 0.68 \text{ mm} > 0.63 \text{ mm}$). Trong trường hợp này chúng ta thay đổi sơ

đồ đo bằng cách đo thêm chênh cao nối điểm M10 với điểm M11 như phương án 2 - hình 1. Kết quả xác định sai số trung phương độ cao của các điểm trong lưới phương án 2 được đưa ra trong bảng 3 và 4.

Bảng 3. Thông số của mạng lưới – Phương án 2

STT	Tên tham số	Giá trị	STT	Tên tham số	Giá trị
1	Tổng số điểm	19	4	Số chênh cao đo	26
2	Số điểm mốc chuẩn	3	5	Sai số đo chênh cao trên 1 trạm	0.25 mm
3	Số điểm quan trắc	16			

Bảng 4. Kết quả ước tính sai số trung phương độ cao điểm – Phương án 2

Phương án 2					
STT	Tên điểm	Sai số $m_H(\text{mm})$	STT	Tên điểm	Sai số $m_H(\text{mm})$
1	M1	0.29	9	M9	0.40
2	M2	0.32	10	M10	0.44
3	M3	0.36	11	M11	0.43
4	M4	0.36	12	M12	0.41
5	M5	0.35	13	M13	0.35
6	M6	0.33	14	M14	0.39
7	M7	0.33	15	M15	0.39
8	M8	0.36	16	M16	0.56
Sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất (M16): $m_{H(M16)} = 0.56 \text{ mm}$					

Kết quả ở bảng 4 cho thấy tất cả các điểm trong lưới đều có sai số trung phương về độ cao đạt độ chính xác yêu cầu đề ra (các điểm đều có sai số trung phương độ cao nhỏ hơn 0.63 mm), có thể nhận thấy trong trường hợp này không cần thay đổi thiết bị đo mà chỉ cần thay đổi một chút đồ hình lưới quan trắc chúng ta có thể nâng cao độ chính xác của kết quả quan trắc.

Trong trường hợp nếu thiết kế lưới 1 bậc hoặc xử lý kết hợp 2 bậc lưới thành 1 bậc lưới (với $m_s = 1.0 \text{ mm}$ tính được $m_H = 0.71 \text{ mm}$), áp dụng thuật toán ở trên ước tính lưới theo phương pháp ước tính lưới độ cao tự do cho sơ đồ lưới Phương án 1 - hình 1, kết quả ước tính thu được ở bảng 5.

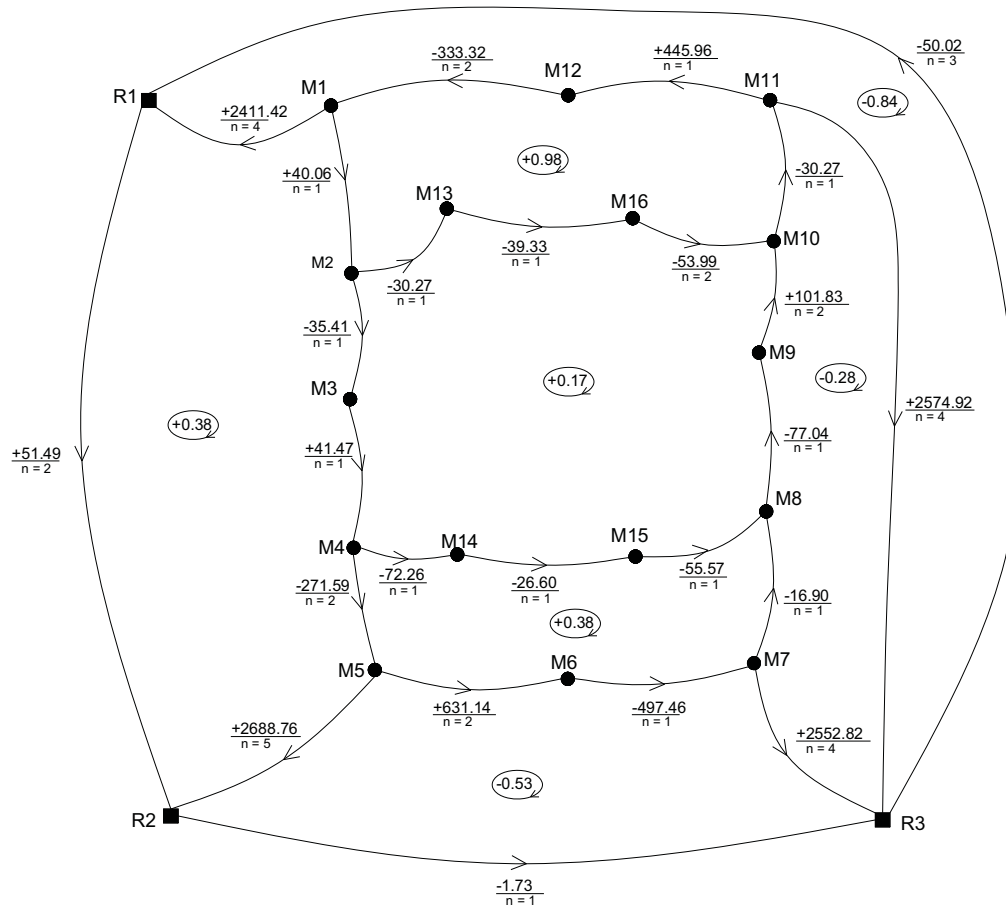
Bảng 5. Kết quả ước tính sai số trung phương độ cao điểm – Lưới 1 bậc

STT	Tên điểm	Sai số $m_H(\text{mm})$	STT	Tên điểm	Sai số $m_H(\text{mm})$
1	M1	0.30	11	M11	0.53
2	M2	0.32	12	M12	0.46
3	M3	0.36	13	M13	0.35
4	M4	0.36	14	M14	0.40
5	M5	0.35	15	M15	0.40
6	M6	0.34	16	M16	0.68
7	M7	0.34	17	R1	0.17
8	M8	0.39	18	R2	0.13
9	M9	0.46	19	R3	0.14
10	M10	0.58			
Sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất $m_{H(M16)} = 0.68 \text{ mm}$					

Kết quả ở bảng 5 cho thấy trong trường hợp thiết kế lưới 1 bậc thì mạng lưới phương án 1 – hình 1 đảm bảo độ chính xác đề ra với sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất trong lưới $< 0.71 \text{ mm}$.

3.2 Thực nghiệm xử lý tính toán bình sai kết hợp lưới độ cao cơ sở và lưới độ cao quan trắc lún

Quá trình thực nghiệm được thực hiện với số liệu quan trắc lún công trình nhà cao tầng đo được trong chu kỳ 2, số liệu đo lún chu kỳ 2 được thể hiện trên sơ đồ của hình 2.



Hình 2. Sơ đồ lưới độ cao đo lún chu kỳ 2

Trên hình 2: R1, R2, R3 - Mốc chuẩn đo lún; M1, M2, ..., M16 - Mốc đo lún, n - Số trạm đo. Độ cao chu kỳ 01 của các mốc chuẩn: $H_{R1} = 6.00001$ m; $H_{R2} = 6.05126$ m; $H_{R3} = 6.04919$ m.

Áp dụng thuật toán bình sai ở mục 2.2 và quy

trình tính toán theo mục 2.3, kết quả phân tích độ ổn định mốc chuẩn đưa ra trong bảng 6, kết quả độ cao sau bình sai của các mốc quan trắc đưa ra trong bảng 7.

Bảng 6. Kết quả phân tích độ ổn định mốc chuẩn (Chu kỳ 2)

STT	Tên điểm	Độ cao H (m)	Độ lún S (mm)	Sai số m_H (mm)	Đánh giá
1	R1	5.99962	-0.39	0.09	Ổn định
2	R2	6.05126	0.00	0.09	Ổn định
3	R3	6.04957	0.38	0.08	Ổn định

Tiêu chuẩn đánh giá độ ổn định: $S_{max} = 0.9$ (mm)

Bảng 7. Kết quả độ cao sau bình sai của các mốc quan trắc (Chu kỳ 2)

STT	Tên điểm	Độ cao H (m)	Sai số m_H (mm)	STT	Tên điểm	Độ cao H (m)	Sai số m_H (mm)
1	M1	3.58794	0.27	9	M9	3.40291	0.31
2	M2	3.62810	0.29	10	M10	3.50491	0.29
3	M3	3.59274	0.30	11	M11	3.47478	0.28
4	M4	3.63426	0.30	12	M12	3.92091	0.30
5	M5	3.36275	0.29	13	M13	3.59807	0.32
6	M6	3.99407	0.30	14	M14	3.56201	0.31
7	M7	3.49669	0.28	15	M15	3.53543	0.31
8	M8	3.47987	0.29	16	M16	3.55879	0.33

Từ kết quả thực nghiệm trong phần này nhận thấy, phương pháp xử lý kết hợp bậc lưới độ cao cơ sở và bậc lưới quan trắc theo thuật toán đã trình bày ở trên cho phép giải quyết đồng thời 2 nhiệm vụ đó là: phân tích độ ổn định của các mốc chuẩn và tính toán độ cao của các mốc quan trắc. Độ cao của các mốc quan trắc không bị ảnh hưởng của sai số liệu gốc như phương pháp bình sai tách biệt hai mạng lưới.

4. Kết luận

- Lưới độ cao quan trắc lún công trình có thể được thiết kế dưới dạng lưới 1 bậc. Trong quá trình lập phương án hoặc đề cương quan trắc lún phải thực hiện đánh giá phương án thiết kế lưới quan trắc độ lún một cách chặt chẽ để trên cơ sở đó xác định được chỉ tiêu đo đạc phù hợp, đáp ứng được yêu cầu độ chính xác đặt ra đối với mạng lưới nhằm đảm bảo chất lượng công tác quan trắc;

- Phương pháp bình sai kết hợp mạng lưới độ cao cơ sở và mạng lưới quan trắc đưa ra trong bài báo cho phép xử lý đồng thời 2 nhiệm vụ cơ bản của công tác quan trắc độ lún là đánh giá, phân tích độ ổn định các mốc chuẩn và tính độ cao các mốc quan trắc với độ tin cậy cao;

- Đánh giá phương án thiết kế lưới quan trắc cùng với phương pháp bình sai kết hợp mạng lưới độ cao cơ sở và mạng lưới quan trắc là những giải

pháp thiết thực góp phần nâng cao chất lượng công tác quan trắc độ lún công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Khánh, Nguyễn Quang Phúc (2010). *Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình*. Nhà Xuất bản "Giao thông vận tải", Hà Nội.
- [2] US. Army Corps of engineers (2002). *Structural Deformation Surveying*. Washington, DC 20314-1000.
- [3] Маркузе Ю. И. (1989), *Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ*, изд-во "недра", Москва.
- [4] П е н ь о Д. Пене (2005). Анализ устойчивости реперов высотной основы// Из в. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.- 2005. No 4.- С. 3-16.
- [5] Ч е р н и к о в В. Ф. (1963). Создание высотной опорной сети для наблюдения за осадками промышленных сооружений// Из в. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.- 1963. No 5.- С. 89-94.
- [6] C o s t a c h e 1 A. Einige neue Aspekte bei Pr3. (1967). zisionsnivellements zur Bestirnrnung der Senkungvon Bauten/ /Vernnessungstechnik, 1967, No 7. S. 250- 257.

Ngày nhận bài: 18/5/2018.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 26/6/2018.