

DÙNG CHƯƠNG TRÌNH BÌNH SAI LƯỚI ĐO GÓC – CẠNH ĐỂ XỬ LÝ SỐ LIỆU ĐO LỆCH TUYẾN USING GEODETIC NETWORK ADJUSTMENT PROGRAM TO PROCESS DISALIGNMENT MEASUREMENTS

Đào Xuân Lộc

Trung tâm NCUDCNXD, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách khoa, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

BẢN TÓM TẮT

Bài báo trình bày xử lý số liệu đo lệch tuyến theo phương pháp đo góc nhỏ bằng chương trình bình sai lưới đo góc-cạnh. Kết quả khảo sát, tính toán cho các sơ đồ đo toàn tuyến, tuyến tuần tự và phân tuyến có độ lệch so với các công thức thường dùng trong phạm vi sai số trung phương xác định giá trị lệch tuyến.

ABSTRACT

This paper presents basic theory to process disalignment measurements by using geodetic network adjustment program. For two modeling examples, the results from this method have small deviation compared with well-know formulae. This deviation is acceptable since it is smaller than one-sigma of disalignment.

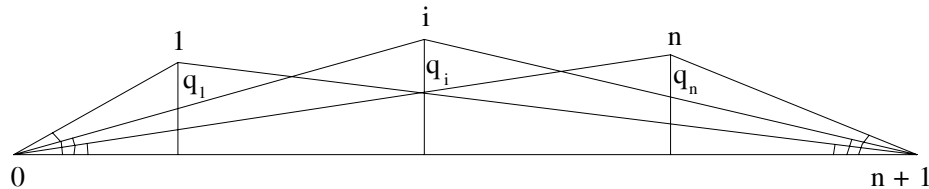
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi xử lý số liệu đo lệch tuyến, điều quan tâm bậc nhất là trị lệch tuyến và độ chính xác xác định nó. Trước đây, tùy theo sơ đồ đo mà áp dụng các công thức khác nhau, việc đo góc nhỏ dùng máy kinh vĩ quang học chính xác, số liệu được ghi vào sổ đo, nay với việc ra đời nhiều loại máy toàn đạc điện tử có độ chính xác đo góc và đo cạnh đều cao và đặc biệt các số liệu đo đều lưu trữ trong máy, nên nếu dùng

được các phần mềm bình sai lưới đo góc-cạnh (thường các phần mềm này đi kèm với máy toàn đạc điện tử) để xử lý số liệu đo lệch tuyến, mà vẫn đảm bảo độ tin cậy, thì hiệu quả công việc sẽ tăng lên.

2. XỬ LÝ SỐ LIỆU ĐO LỆCH TUYẾN THEO CÁC CÔNG THỨC THƯỜNG ÁP DỤNG

2.1 Xử lý số liệu đo toàn tuyến



Hình 1

Xét hình 1, khi đo lệch tuyến dùng phương pháp đo góc nhỏ theo chiều thuận, trước hết máy kinh vĩ chính xác đặt tại O, băng ngắm cố định đặt tại n+1, sau khi định hướng, đo các góc nhỏ $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ hợp bởi hướng chuẩn 0 – (n+1) với các hướng 0 – 1, 0 – 2, ..., 0 – n. Nếu

gọi khoảng cách giữa điểm 0 với 1, 2, ..., n là l_1, l_2, \dots, l_n thì cho điểm i, giá trị lệch tuyến được tính:

$$q_i = l_i \cdot \sin \beta_i \quad (1)$$

Nếu gọi sai số trung phương đo góc β là m_β , thì:

$$m_{q_i}^2 = l_i^2 \cdot \cos^2 \beta \cdot \frac{m_\beta^2}{\rho^2}$$

Khi β nhỏ thì $\cos \beta \approx 1$

$$m_{q_i} = l_i \cdot \frac{m_\beta}{\rho}$$

(2) và trọng số trị lệch tuyến được tính như sau:

$$P_i = \frac{\rho^2}{m_\beta^2 \cdot l_i^2}$$

(3)

Với chiều đo ngược, máy kinh vĩ và bảng ngắm cố định tại điểm 0 và n+1 thay đổi vị trí cho nhau, với cách suy luận tương tự. Ta có:

$$q_i' = l_i' \cdot \sin \beta_i'$$

(4)

$$P_i' = \frac{\rho^2}{m_\beta'^2 \cdot l_i'^2}$$

(5)

Từ kết quả đo đi và về, tính trị trung bình trọng số giá trị lệch tuyến:

$$\bar{q}_i = \frac{P_i \cdot q_i + P_i' \cdot q_i'}{P_i + P_i'}$$

(6)

Giá trị \bar{q}_i có trọng số $\bar{P}_i = P_i + P_i'$ nên

sai số trung phương trị trung bình trọng số \bar{q}_i là:

$$m_{q_i} = \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{l_i \cdot l_i}{\sqrt{l_i^2 + l_i'^2}}$$

(7)

Giá trị dịch chuyển theo hướng vuông góc với tuyến giữa chu kỳ K-1 và K là hiệu giá trị $\frac{-K}{q_i}$ và $\frac{-K-1}{q_i}$, còn sai số trung phương của nó

(các chu kỳ đo có sai số đo góc m_β) được tính theo công thức [2]:

$$m_{\Delta q} = \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{l_i \cdot l_i}{\sqrt{l_i^2 + l_i'^2}} \cdot \sqrt{2}$$

(8)

2.2 Xử lý số liệu đo phân tuyến:

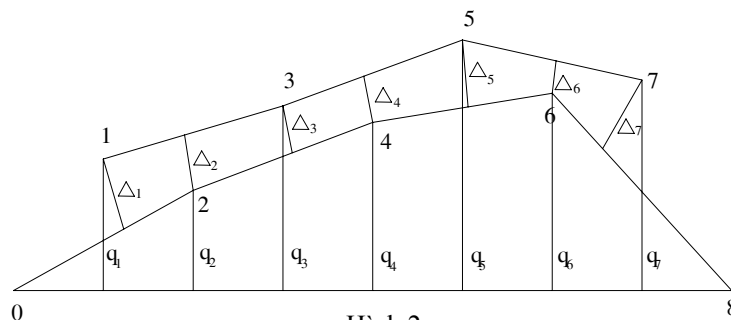
a. Khi điểm đầu và cuối tuyến không nhìn thấy nhau, tuyến chính được phân ra nhiều tuyến nhỏ 0-2, 1-3, 2-4, 3-5, 4-6, 5-7, 6-8 (hình 2) sau đó tương đối với các tuyến nhỏ, xác định các giá trị lệch tuyến ΔI (theo chiều đo đi) và $\Delta' I$ (theo chiều đo về). Các giá trị ΔI , $\Delta' I$ và trung bình trọng số của chúng tính theo tính theo (1)- (6). Để tính trị lệch tuyến q_i tương đối với tuyến chính từ điểm 0 đến điểm n+1, giải hệ phương trình tuyến tính sau [1]:

$$q_1 - q_2 \cdot \frac{l_{0,1}}{l_{0,2}} - \Delta_1 = 0$$

$$q_2 - q_1 \cdot \frac{l_{2,3}}{l_{1,3}} - q_3 \cdot \frac{l_{1,2}}{l_{1,3}} - \Delta_2 = 0$$

(9)

$$q_i - q_{i-1} \cdot \frac{l_{i,i+1}}{l_{i-1,i+1}} - q_{i+1} \cdot \frac{l_{i-1,i}}{l_{i-1,i+1}} - \Delta_i = 0$$



Hình 2

b. Khi điểm đầu và cuối tuyến thông hướng (để minh họa lấy ví dụ tuyến có 7 điểm cần quan trắc):

Trước hết theo tuyến 0-8 xác định giá trị lệch tuyến cho điểm 4. Tiếp theo tương đối với tuyến 0-4 và 4-8 xác định giá trị lệch tuyến Δ_2 và Δ_6 cuối cùng theo tuyến 0-2, 2-4, 4-6, 6-8 xác định $\Delta_1, \Delta_3, \Delta_5, \Delta_7$.

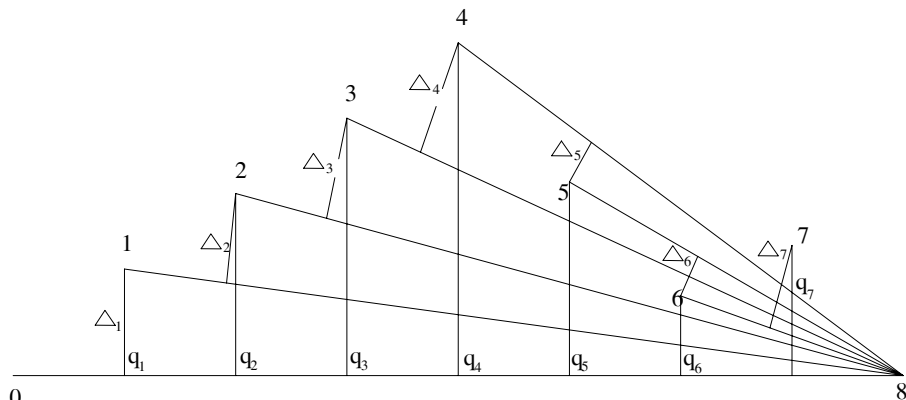
Xét các tam giác đồng dạng với các giá trị lệch tuyến Δ_i vuông góc với tuyến chính 0-8 và do các giá trị lệch tuyến q_i bé nên dễ dàng đi đến các công thức tính giá trị lệch tuyến q_i tương đối với tuyến chính 0-8:

$$\begin{aligned}
 q_4 &= \Delta_4 \\
 q_2 &= \Delta_2 + \Delta_4 \cdot \frac{l_{0-2}}{l_{0-4}} \\
 q_6 &= \Delta_6 + \Delta_4 \cdot \frac{l_{6-8}}{l_{4-8}} \\
 q_1 &= \Delta_1 + \Delta_2 \cdot \frac{l_{0-1}}{l_{0-2}} + \Delta_4 \cdot \frac{l_{0-1}}{l_{0-4}} \\
 q_3 &= \Delta_3 + \Delta_2 \cdot \frac{l_{3-4}}{l_{2-4}} + \Delta_4 \cdot \frac{l_{0-3}}{l_{0-4}} \\
 q_5 &= \Delta_5 + \Delta_4 \cdot \frac{l_{5-8}}{l_{4-8}} + \Delta_6 \cdot \frac{l_{4-5}}{l_{4-6}} \\
 q_7 &= \Delta_7 + \Delta_4 \cdot \frac{l_{7-8}}{l_{4-8}} + \Delta_6 \cdot \frac{l_{7-8}}{l_{6-8}}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Trong trường hợp đo về tương tự ta có:

$$\begin{aligned}
 q'_4 &= \Delta'_4 \\
 q'_2 &= \Delta'_2 + \Delta'_4 \cdot \frac{l_{0-2}}{l_{0-4}} \\
 q'_6 &= \Delta'_6 + \Delta'_4 \cdot \frac{l_{6-8}}{l_{4-8}} \\
 q'_1 &= \Delta'_1 + \Delta'_2 \cdot \frac{l_{0-1}}{l_{0-2}} + \Delta'_4 \cdot \frac{l_{0-1}}{l_{0-4}} \\
 q'_3 &= \Delta'_3 + \Delta'_2 \cdot \frac{l_{3-4}}{l_{2-4}} + \Delta'_4 \cdot \frac{l_{0-3}}{l_{0-4}} \\
 q'_5 &= \frac{l_{0-5}}{l_{0-7}} \cdot \Delta'_7 + \frac{l_{0-5}}{l_{0-6}} \cdot \Delta'_6 + \Delta'_5 \\
 q'_7 &= \Delta'_7 + \Delta'_4 \cdot \frac{l_{7-8}}{l_{4-8}} + \Delta'_6 \cdot \frac{l_{7-8}}{l_{6-8}}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Từ các công thức trên theo công thức tính sai số trung phương của hàm với các biến là Δ_i và Δ'_i ta có m_{q_i} và m'_{q_i} , suy ra P_i và P'_i , cuối cùng lấy trung bình trọng số giữa đo đi và về theo (6) và sai số trung phương của trị trung bình trọng số.



Hình 3

2.3 Xử lý số liệu đo tuyến tuần tự:

Theo sơ đồ đo này, khi đo đi, máy kinh vĩ đặt tại điểm 0, băng ngắm cố định đặt tại điểm n+1, theo tuyến 0-(n+1) đo Δ_1 , tiếp theo máy dời đến điểm 1, đo trị lệch tuyến Δ_2 tương đối

Khi đo đi:

$$q_1 = \Delta_1$$

$$q_2 = \frac{l_{2-8}}{l_{1-8}} \cdot \Delta_1 + \Delta_2$$

$$q_3 = \frac{l_{3-8}}{l_{1-8}} \cdot \Delta_1 + \frac{l_{3-8}}{l_{2-8}} \cdot \Delta_2 + \Delta_3$$

$$q_7 = \frac{l_{7-8}}{l_{1-8}} \cdot \Delta_1 + \frac{l_{7-8}}{l_{2-8}} \cdot \Delta_2 + \frac{l_{7-8}}{l_{3-8}} \cdot \Delta_3 + \frac{l_{7-8}}{l_{4-8}} \cdot \Delta_4 + \frac{l_{7-8}}{l_{5-8}} \cdot \Delta_5 + \frac{l_{7-8}}{l_{6-8}} \cdot \Delta_6 + \Delta_7$$

(13)

Trong trường hợp đo về:

$$q'_1 = \frac{l_{0-1}}{l_{0-7}} \cdot \Delta'_7 + \frac{l_{0-1}}{l_{0-6}} \cdot \Delta'_6 + \frac{l_{0-1}}{l_{0-5}} \cdot \Delta'_5 + \frac{l_{0-1}}{l_{0-4}} \cdot \Delta'_4 + \frac{l_{0-1}}{l_{0-3}} \cdot \Delta'_3 + \frac{l_{0-1}}{l_{0-2}} \cdot \Delta'_2 + \Delta'_1$$

(14)

Độ chính xác xác định Δ'_i và Δ_i được coi như nhau, nếu khoảng các giữa các điểm lệch tuyến gần bằng nhau:

$$m_{\Delta} = \frac{m_{\beta}^n}{\rho} \cdot \frac{L}{n}$$

Trong đó L- là chiều dài từ điểm đầu đến điểm cuối tuyến;

n- số đoạn trên tuyến .

Theo phương pháp này sai số trung phương xác định trị lệch tuyến khi đo đi và về khác nhau và có trọng số là P_i và P'_i .

Ví dụ cho điểm 1 ở sơ đồ trên

$$m_{q_1}^2 = m_{\Delta}^2$$

$$m_{q_1}^2 = m_{\Delta}^2 \left[\frac{l_{0-1}^2}{l_{0-7}^2} + \frac{l_{0-1}^2}{l_{0-6}^2} + \frac{l_{0-1}^2}{l_{0-5}^2} + \frac{l_{0-1}^2}{l_{0-4}^2} + \frac{l_{0-1}^2}{l_{0-3}^2} + \frac{l_{0-1}^2}{l_{0-2}^2} + 1 \right]$$

với tuyến 1-(n+1), cứ thế đến tuyến cuối n-1 đến n+1 đo trị lệch tuyến Δ_n . Theo chiều đo về máy và băng ngắm thay đổi vị trí cho nhau . Ứng với ví dụ trên hình 3, ta có các công thức tính như sau:

Trọng số, trị trung bình giữa đo đi và về tính theo (3) - (6)

Như vậy, với sơ đồ toàn tuyến, phân tuyến, tuyến tuần tự dựa vào cách phân tuyến và số lượng điểm cần quan trắc mà sử dụng các công thức tính khác nhau, các công thức đánh giá độ chính xác khác nhau.

3.XỬ LÝ SỐ LIỆU ĐO LỆCH TUYẾN BẰNG CHƯƠNG TRÌNH BÌNH SAI GÓC-CẠNH.

Trước hết phải quan niệm rằng, tất cả các điểm quan trắc giá trị lệch tuyến và các điểm đầu và cuối tuyến (thường độ ổn định các điểm này được phân tích qua sự thay đổi tọa độ của chúng trong lưới kiểm tra) tạo thành lưới quan trắc lệch tuyến (qtl). Lưới này, trong mỗi chu kỳ đo, được bình sai với với 2 điểm gốc là điểm đầu và cuối tuyến, mà tọa độ gốc của chúng được lấy từ kết quả bình sai lưới kiểm tra. Nếu trong lưới quan trắc lệch tuyến góc được đo chính xác còn cạnh chỉ biết gần đúng, thì kết quả bình sai chúng ta chỉ quan tâm đến giá trị lệch tuyến mà thôi. Nếu cả góc lẫn cạnh

đều đo độ chính xác cao thì kết quả, ngoài việc nhận được giá trị lệch tuyến còn nhận được độ chuyển dịch dọc theo tuyến.

Vì trong lưới qtlđ đo các góc và các cạnh nên các phương trình hiệu chỉnh được lập cho góc và cạnh có dạng sau:

a. Phương trình số hiệu chỉnh cạnh đo từ điểm xác định i đến điểm xác định k

$$v_{ik} = -c_{ik} \delta x_i - d_{ik} \delta y_i + c_{ik} \delta x_k + d_{ik} \delta y_k + l_{ik} \quad (15)$$

$$v_{\beta} = -(a_{ik} - a_{ij}) \delta x_i - (b_{ik} - b_{ij}) \delta y_i + a_{ik} \delta x_k + b_{ik} \delta y_k - a_{ij} \delta x_j - b_{ij} \delta y_j + l_{\beta} \quad (16)$$

Trong đó:

$$a_{ik} = \frac{\rho \sin \alpha_{ik}^0}{S_{ik}}; b_{ik} = \frac{\rho \cdot \cos \alpha_{ik}^0}{S_{ik}};$$

Với :

$l_{\beta} = \beta^0 - \beta^{do}$, trong đó β^0 - góc tính theo tọa độ gần đúng;

$\delta x_i, \delta y_i, \delta x_k, \delta y_k$ - số hiệu chỉnh vào tọa độ gần đúng $x_i^0, y_i^0, x_k^0, y_k^0$ (nếu chọn hệ trục tọa độ có trục y trùng với tuyến, thì δx là trị lệch tuyến còn δy là trị dịch chuyển dọc theo tuyến).

Để lập trọng số cho các trị đo, chọn sai số trung phương đo góc làm sai số đơn vị trọng số, như vậy:

$$P_{\beta} = 1, p_s = m2\beta/m2s \quad (17)$$

Như vậy, nếu gọi ma trận hệ số phương trình số hiệu chỉnh là A, ma trận đường chéo trọng số trị đo P, ma trận cột số hạng tự do phương trình số hiệu chỉnh l, ma trận cột ẩn số δX , ma trận cột số hiệu chỉnh V, thì để tìm δX dưới điều kiện $VTPV = \min$, ta có phương trình số hiệu chỉnh và phương trình chuẩn sau:

$$V = A\delta X + l \quad (18)$$

$$c_{ik} = -\cos \alpha_{ik}^0, d_{ik} = \sin \alpha_{ik}^0$$

$$\text{Trong đó: } l_{ik} = S_{ik}^0 - S_{ik}^{do};$$

Với S_{ik}^0 và S_{ik}^{do} là cạnh tính theo tọa độ gần đúng điểm i, k và cạnh đo.

b. Phương trình số hiệu chỉnh góc đo.

Góc β_i tại điểm i là hiệu giá trị hai hướng đo (hướng phải trừ hướng trái theo chiều kim đồng hồ). Nên phương trình hiệu chỉnh góc đo có dạng:

$$ATPA\delta X + ATPI = 0 \quad (19)$$

Ký hiệu $N = ATPA, L = ATPI$, ta có:

$$N\delta X = -L$$

suy ra:

$$\delta X = -N^{-1} L \quad (20)$$

Sau khi tìm được δX tính được V, còn sai

số đơn vị trọng số $\mu = m\beta = \sqrt{\frac{V^T P V}{n - k}}$ và sai số

trung phương $m\delta X = \mu \sqrt{Q_{xx}}$, với Q_{xx} là các phần tử trên đường chéo ma trận N^{-1} .

Như vậy với phương pháp bình sai lưới đo góc cạnh có thể giải quyết việc xử lý tất cả các sơ đồ đo lệch tuyến khác nhau kèm đánh giá độ chính xác.

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN, KHẢO SÁT

Để khảo sát, chúng tôi lập 2 mô hình, mô hình 1 gồm tuyến có chiều dài 150 mét, đo góc nhỏ xác định trị lệch tuyến 3 điểm trên tuyến theo sơ đồ toàn tuyến và phân tuyến mục a, góc đo với độ chính xác 1", khoảng cách gần đúng với độ chính xác 2-3 cm, S0-1=30 m; S0-2=75 m; S0-3=105 m. Mô hình 2 gồm 9 điểm với chiều dài tuyến 240 m, trên tuyến có 7 điểm cách nhau 30 mét. Góc đo với độ chính xác 2", sơ đồ đo theo phân tuyến mục b và tuyến tuần tự, các cạnh biết chiều dài gần đúng với độ chính xác 2 cm.

Mỗi mô hình được tính toán theo các công thức thông thường và theo hai chương trình bình sai góc - cạnh: Liscad plus của hãng Leica và LT.for do chúng tôi viết. Các kết quả tính q và mq (đơn vị mm) cho các mô hình và

qua các cách tính khác nhau thể hiện trong các bảng dưới đây:

Bảng 1: Mô hình 1 – đo toàn tuyến

Góc	4.0.1.	4.0.2	4.0.3	0.4.1	0.4.2	0.4.3
β	359 ⁰ 42'48.7	359 ⁰ 55'25.0	359 ⁰ 55'44.6	9' 56.8"	4' 34.3"	4' 17.8"

STT	(1)		(2)		(3)		Ghi chú
	q ¹	m _q	q ²	M _q	q ³	m _q	
1	150.1	0.14	149.9	0.18	149.8	0.19	(1) theo các công thức mục 2
2.	99.9	0.25	99.7	0.26	99.8	0.28	(2) theo Liscad-plus
3.	130.2	0.20	130.3	0.21	130.3	0.22	(3) theo LT.FOR

Bảng 2: Mô hình 1 – đo phân tuyến a,

Tên góc	Góc đo	Tên góc	Góc đo	Tên góc	Góc đo
2.0.1	359 47 23	4.2.3	359 51 58.7	3.1.2	0 2 56.1
0.2.1	0 8 24.0	2.4.3	0 5 22.6	1.3.2	359 55 35.8
3.1.2	0 2 54.6	2.0.1	359 47 22.9	4.2.3	359 51 58.7
1.3.2	359 55 38.5	0.2.1	0 8 22.9	2.4.3	0 5 22.6

STT	(1)		(2)		(3)		Ghi chú
	q ¹	m _q	q ²	m _q	Q ³	m _q	
1	150.0	0.20	149.8	0.25	150.1	0.26	(1)theo các công thức mục 2
2	100.0	0.31	99.5	0.36	99.7	0.35	(2) theo Liscad-plus
3	130.0	0.26	129.8	0.22	129.7	0.24	(3) theo LT.FOR

Bảng 3: Mô hình 2 – đo phân tuyến b,

Tên góc	Góc đo	Tên góc	Góc đo	Tên góc	Góc đo
4.0.2	0 1 48.6	8.4.6	359 58 35.1	6.4.5	0 01 41.8
0.8.4	0 4 23.0	4.8.6	0 1 27.0	4.6.5	359 58 21.0
8.0.4	359 55 37.5	2.0.1	0 1 39.7	8.6.7	359 56 17.9
4.2.3	359 57 02.6	0.2.1	359 58 19.3	6.8.7	0 03 44.8
2.4.3	0 3 1.5			0.4.2	359 58 12.7

STT	(1)		(2)		(3)		Ghi chú
	q ¹	m _q	q ²	m _q	q ³	m _q	
1	8.0	0.35	7.9	0.20	8.1	0.25	(1) theo các công thức mục 2
2	45.0	0.58	45.3	0.35	45,2	0.42	(2) theo Liscad-plus
3	125.0	0.67	125.3	0.50	125.3	0.55	(3) theo LT.FOR
4	152.8	0.82	152.9	0.60	152.9	0.68	
5	112.6	0.67	112.6	0.50	112.7	0.56	
6	101.4	0.58	101.3	0.35	101.3	0.40	
7	83.2	0.35	83.1	0.20	83.1	0.24	

Bảng 4: Mô hình 2 – đo tuần tự

Tên góc	Góc đo	Tên góc	Góc đo	Tên góc	Góc đo
8.0.1	359 59 5.0	8.5.6	359 56 59.2	0.6.5	0 03 16.0
8.1.2	359 55 38.0	8.6.7	359 56 17.9	0.5.4	0 07 12.5
8.2.3	359 49 58.4	0.8.7	0 09 32.0	0.4.3	0 01 14.9
8.3.4	359 53 57.0	0.7.6	0 03 29.0	0.3.2	359 55 32.5
8.4.5	0 00 13.8			0.2.1	359 58 20.3

STT	(1)		(2)		(3)		Ghi chú
	q ¹	m _q	q ²	m _q	q ³	m _q	
1	8.0	0.23	8.0	0.30	8.1	0.32	(1) theo các công thức mục 2 (2) theo Liscad-plus (3) theo LT.FOR
2	45.0	0.28	45.0	0.33	45.1	0.35	
3	125.5	0.31	125.4	0.35	125.5	0.37	
4	153.2	0.32	153.1	0.40	153.2	0.42	
5	112.9	0.31	112.9	0.33	112.8	0.37	
6	101.5	0.28	101.5	0.32	101.4	0.35	
7	83.2	0.23	83.1	0.30	83.1	0.32	

So sánh các giá trị lệch tuyến nhận được từ cách tính theo các công thức kinh điển và theo hai chương trình bình sai góc-cạnh: Liscad plus và LT.FOR, chúng ta nhận thấy rằng các trị lệch tuyến nhận được cho các điểm quan trắc chỉ lệch nhau trong phạm vi sai số xác định chúng. Trị sai số trung phương xác định lệch tuyến theo các phương pháp tính trên cũng có độ hội tụ cao. Từ đây có thể thấy rằng việc xử lý đo lệch tuyến theo các sơ đồ đo toàn tuyến, phân tuyến hay tuyến tuần tự, bằng các chương trình bình sai góc – cạnh hoàn toàn đảm bảo độ tin cậy, nhất là khi công nghệ đo hiện nay cùng lúc đo góc và đo cạnh với độ chính xác cao và ngoài việc yêu cầu xác định trị lệch tuyến còn xem xét biến dạng công trình dọc theo tuyến.

Việc sử dụng các chương trình bình sai góc – cạnh không những đáp ứng nhu cầu xử lý số liệu đo lệch tuyến mà có thể dùng để ước tính độ chính xác trị lệch tuyến khi thiết kế lưới quan trắc lệch tuyến.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Tấn Lộc: Trắc địa cơ bản trong khảo sát thi công và quan trắc biến dạng công trình, Trường Đại học kỹ thuật Tp.HCM (1998).
2. Phan Văn Hiến (chủ biên), và các cộng sự: Trắc địa công trình, NXB Giao thông vận tải, Hà nội (1999).
3. Kljushin V.: Thực hành trắc địa công trình, Công tác trắc địa trong xây dựng và khai thác sử dụng công trình, Nhedra, Moskva (1993).