

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG GPS ĐỂ KIỂM TRA ĐỘ THẲNG ĐỨNG CÔNG TRÌNH TRONG QUÁ TRÌNH THI CÔNG

NGUYỄN QUANG PHÚC, HOÀNG THI MINH HƯƠNG, TRẦN THUỶ LINH,

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Trong thi công xây dựng, thường sử dụng các phương pháp và phương tiện truyền thống để kiểm tra độ thẳng đứng của công trình. Tuy nhiên, với các công trình có chiều cao lớn, các giải pháp truyền thống tỏ ra kém hiệu quả, trong nhiều trường hợp không đáp ứng được yêu cầu của thi công. Nội dung bài báo nghiên cứu biện pháp kiểm tra độ thẳng đứng của các công trình xây dựng có chiều cao lớn bằng công nghệ GPS với việc sử dụng hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời. Trên cơ sở đó, đánh giá khả năng ứng dụng GPS để kiểm tra độ thẳng đứng của công trình trong quá trình thi công.

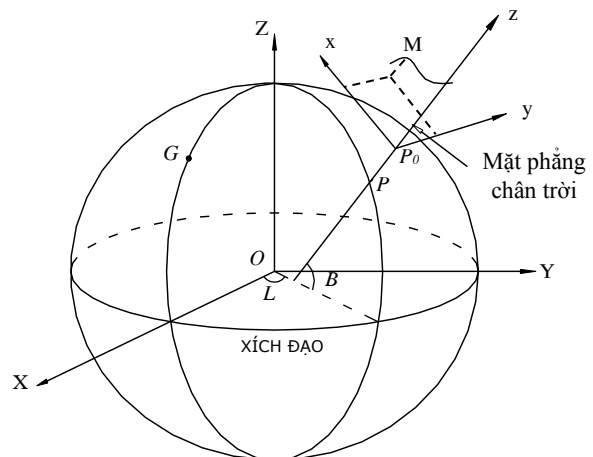
1. Đặt vấn đề

Khi thi công các công trình xây dựng có chiều cao lớn như nhà cao tầng, tháp truyền hình, ống khói nhà máy, silo, bồn chứa nhiên liệu v.v..., cần phải tuân thủ chặt chẽ yêu cầu về độ chính xác và các kích thước hình học của công trình. Yêu cầu này nhằm bảo đảm tính bền vững và ổn định của các kết cấu, đồng thời cũng là để bảo đảm trắc địa cho việc lắp đặt các cấu kiện và thiết bị kỹ thuật trong quá trình thi công cũng như trong vận hành, khai thác sử dụng công trình.

Yêu cầu chủ yếu về dạng hình học đối với các công trình có chiều cao lớn là phải đảm bảo được độ thẳng đứng - một thông số đặc trưng quan trọng cho độ bền vững và tính thẩm mỹ của công trình. Khi công trình không còn thẳng đứng, có nghĩa là nó đã bị nghiêng. Theo [2], đối với các công trình có trục đứng duy nhất và rõ ràng như ống khói nhà máy, tháp truyền hình, silo, bồn chứa nhiên liệu... thì độ nghiêng của công trình là sự sai lệch của trục đứng thực tế của nó tại điểm đang xét so với phương thẳng đứng được xác định bằng đường dây dọi. Đối với các công trình không có trục đứng duy nhất và rõ ràng như các toà nhà cao tầng thì độ nghiêng của nó được đánh giá qua độ nghiêng của các bức tường và của các cột chịu lực chính. Độ nghiêng được biểu diễn bằng đơn vị độ dài - hình chiếu của độ lệch tâm trên và tâm dưới công trình trên mặt phẳng chân đế hoặc góc nghiêng - góc hợp bởi trục đứng thực tế của

công trình với trục đứng lý tưởng tức là phương của dây dọi.

Như vậy, để xác định được độ thẳng đứng của công trình, cần phải xác lập một hệ quy chiếu cục bộ với gốc tọa độ và hệ trục tọa độ một cách hợp lý cho công trình. Theo chúng tôi, hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời đáp ứng được yêu cầu xác định độ thẳng đứng của công trình theo nghĩa nói trên khi kiểm tra độ thẳng đứng của các công trình có chiều cao lớn bằng công nghệ GPS. Trước hết, chúng ta xem xét hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời địa phương (gọi tắt là hệ tọa độ địa diện chân trời) trong mối quan hệ với hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm quốc tế WGS-84, là hệ tọa độ thường được sử dụng trong đo đạc vệ tinh.



Hình 1. Hệ tọa độ địa diện chân trời P_0 -xyz

2. Hệ tọa độ địa diện chân trời

Trên Hình 1, O là tâm của ellipsoid Trái đất. O-XYZ là hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm quốc tế. P₀ là điểm trên Mặt đất hoặc cũng có thể là một điểm của lưới khống chế. Lấy điểm P₀ làm gốc, pháp tuyến với mặt ellipsoid đi qua điểm P₀ làm trục z, hướng thiên đỉnh là hướng dương; lấy hướng kinh tuyến làm trục x, hướng Bắc là hướng dương; trục y vuông góc với trục x và z, hướng Đông là hướng dương. P₀-xyz được gọi là hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời.

Quan hệ giữa tọa độ vuông góc không gian địa tâm và tọa độ địa diện chân trời được biểu diễn theo công thức [1]:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \\ -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ \cos B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

trong đó: X_i, Y_i, Z_i và x_i, y_i, z_i - là tọa độ không gian và tọa độ địa diện của điểm i.

X₀, Y₀, Z₀ và B₀, L₀ - là tọa độ không gian và tọa độ trắc địa của điểm P₀.

Một số kết quả nghiên cứu cho thấy, độ chính xác xác định các thành phần tọa độ địa diện chân trời sau tính chuyển chỉ phụ thuộc vào sai số trung phương xác định tọa độ vuông góc không gian của các điểm [3]. Bên cạnh đó, các máy thu tín hiệu vệ tinh hiện nay có thể đảm bảo xác định tọa độ với sai số trung phương cỡ ~3mm [4].

Xem xét hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời, có thể rút ra một số nhận xét sau:

- Phương của trục z là phương của pháp tuyến với mặt ellipsoid đi qua gốc của hệ tọa độ, rất gần với phương của dây dọi. Đây là điều kiện rất thuận lợi để nghiên cứu độ thẳng đứng của công trình. Một số kết quả nghiên cứu cũng đã cho thấy rằng, trên phần lớn lãnh thổ của Cộng hòa liên bang Nga, độ lệch dây dọi không quá 4''[3]. Ở Việt Nam, giá trị này là khoảng 10'' ở khu vực Hà Nội và khoảng 20'' ở vùng núi phía Bắc tính theo ellipsoid WGS-84 quốc tế.

- Các công trình thường được xây dựng trên bề mặt đất tự nhiên. Nếu sử dụng các giá trị tọa độ phẳng trong phép chiếu hình trụ ngang đồng góc để nghiên cứu độ thẳng đứng của công trình sẽ không thuận lợi, vì mặt chiếu tọa độ phẳng trong trường hợp này là mặt của ellipsoid quy chiếu tọa độ. Trong khi đó, độ cao của điểm gốc P₀ của hệ tọa độ địa diện có thể được lựa chọn. Và nếu chọn độ cao của điểm gốc P₀ là độ cao của bề mặt móng công trình thì khi đó, mặt phẳng tọa độ xP₀y chính là mặt phẳng chân trời tại P₀ (Hình 1), tức là bề mặt đất thực, rất thuận lợi cho việc nghiên cứu độ thẳng đứng cũng như các biến cố của công trình trong quá trình thi công và khai thác sử dụng chúng.

Theo [2], sai số giới hạn xác định độ nghiêng một số loại công trình cho như ở cột 2 của Bảng 1, với H là chiều cao của công trình.

Nếu coi sai số giới hạn lớn gấp 2 lần sai số trung phương thì độ chính xác xác định độ nghiêng của các đối tượng trên sẽ là (xem cột 3 và 4 của bảng 1):

Bảng 1. Độ chính xác xác định độ nghiêng một số loại công trình

Loại công trình	Sai số giới hạn [2]	Sai số trung phương	
		Theo độ dài	Theo góc
(1)	(2)	(3)	(4)
Nhà ở cao tầng	0,0001H	0,00005H	10,3''
Ông khói nhà máy	0,0005H	0,00025H	51,5''
Các silô chứa vật liệu rời, bồn chứa dầu, khí hoá lỏng	0,001H	0,0005H	1' 43,0''
Tháp truyền hình, ăng ten vô tuyến	0,0001H	0,00005H	10,3''

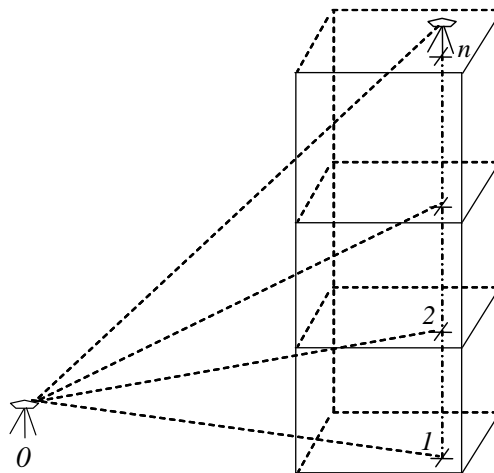
Kết quả ở cột 4 (bảng 1) cho thấy: trong phần lớn trường hợp, độ lệch dây dọi không vượt quá độ chính xác cần thiết xác định độ nghiêng. Vì vậy, hoàn toàn có thể sử dụng hệ toạ độ địa diện chân trời để nghiên cứu, xác định độ nghiêng công trình.

3. Nguyên lý xác định độ thẳng đứng công trình bằng công nghệ GPS

Trên hình 2, 0 là điểm của lưới khống chế, đã có toạ độ trong hệ toạ độ không gian địa tâm là X_0, Y_0 và Z_0 . Để tìm giao điểm của phương pháp tuyến với mặt ellipsoid đi qua điểm 1 ở các mức 1, 2, 3, ..., n trên các sản thi công, cần

đặt một máy thu tín hiệu vệ tinh tại điểm 0, máy thu thứ 2 lần lượt đặt tại điểm 1, sau đó tại lần cận các điểm 2, 3, ..., n theo tiến độ thi công. Kết quả xử lý số liệu cho phép xác định các số gia toạ độ $\Delta X_{0i}, \Delta Y_{0i}, \Delta Z_{0i}$ của vector \vec{O}_i ($i=1, 2, \dots, n$), từ đó xác định được toạ độ của điểm thứ i trong hệ toạ độ không gian địa tâm theo công thức:

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_0 + \Delta X_{0i} \\ Y_i &= Y_0 + \Delta Y_{0i} \\ Z_i &= Z_0 + \Delta Z_{0i} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$



Hình 2- Xác định độ thẳng đứng công trình

Chọn điểm 1 làm gốc của hệ toạ độ địa diện chân trời. Theo (1), sẽ tính được toạ độ địa diện chân trời của các điểm như sau (viết dưới dạng đầy đủ):

$$\left. \begin{aligned} x_i &= -(X_i - X_1) \sin B_1 \cos L_1 - (Y_i - Y_1) \sin B_1 \sin L_1 + (Z_i - Z_1) \cos B_1 \\ y_i &= -(X_i - X_1) \sin L_1 + (Y_i - Y_1) \cos L_1 \\ z_i &= -(X_i - X_1) \cos B_1 \cos L_1 - (Y_i - Y_1) \cos B_1 \sin L_1 + (Z_i - Z_1) \sin B_1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

với $i=2, 3, \dots, n$.

Nếu lưu ý đến (2) thì (3) còn có thể viết lại như sau:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= -(\Delta X_{0i} - \Delta X_{01}) \sin B_1 \cos L_1 - (\Delta Y_{0i} - \Delta Y_{01}) \sin B_1 \sin L_1 + (\Delta Z_{0i} - \Delta Z_{01}) \cos B_1 \\ y_i &= -(\Delta X_{0i} - \Delta X_{01}) \sin L_1 + (\Delta Y_{0i} - \Delta Y_{01}) \cos L_1 \\ z_i &= -(\Delta X_{0i} - \Delta X_{01}) \cos B_1 \cos L_1 - (\Delta Y_{0i} - \Delta Y_{01}) \cos B_1 \sin L_1 + (\Delta Z_{0i} - \Delta Z_{01}) \sin B_1 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

tức là chỉ phải tính thông qua các số gia toạ độ không gian của các vector đường dây \vec{O}_i , mà không liên quan gì đến toạ độ của điểm khống chế 0. Tuy nhiên, nếu vị trí của điểm 0 không ổn định trong quá trình thi công thì cũng sẽ gây ra sự thay đổi chiều dài của các vector đường dây. Đây là điểm cần lưu ý khi lựa chọn vị trí cũng như bố trí các điểm khống chế, sao cho chúng có độ ổn định cao trong suốt quá trình thi công. Trong các công thức trên, B_1 và L_1 là toạ độ trắc địa của điểm 1.

Nếu các điểm 2, 3, ..., n cùng nằm trên phương pháp tuyến sẽ phải thoả mãn điều kiện:

$$x_i = y_i = 0. \quad (5)$$

Khi điểm 0 không quá xa công trình (<200m), có thể xem phương pháp tuyến với ellipsoid đi qua điểm 0 và điểm 1 là song song với nhau. Khi đó, có thể chọn điểm 0 làm gốc của hệ tọa độ địa diện và công thức (4) được viết lại là:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= -\Delta X_{0i} \sin B_0 \cos L_0 - \Delta Y_{0i} \sin B_0 \sin L_0 + \Delta Z_{0i} \cos B_0 \\ y_i &= -\Delta X_{0i} \sin L_0 + \Delta Y_{0i} \cos L_0 \\ z_i &= -\Delta X_{0i} \cos B_0 \cos L_0 - \Delta Y_{0i} \cos B_0 \sin L_0 + \Delta Z_{0i} \sin B_0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

với $i=1, 2, \dots, n$; B_0, L_0 là tọa độ trắc địa đã biết của điểm 0.

Trong trường hợp này, nếu các điểm 2, 3, ..., n cùng nằm trên phương pháp tuyến đi qua điểm 1 thì sẽ phải thỏa mãn điều kiện:

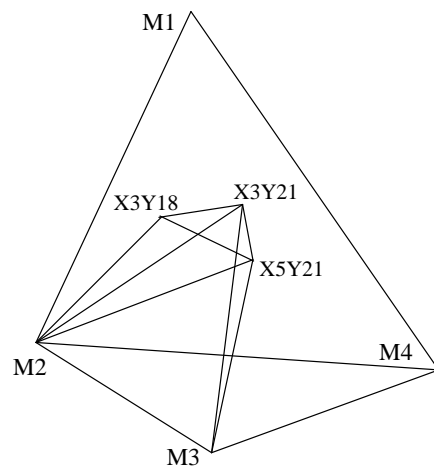
$$\left. \begin{aligned} x_2 = x_3 = \dots = x_n = x_1 \\ y_2 = y_3 = \dots = y_n = y_1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Điều kiện (5) hoặc (7) cho phép kiểm tra độ thẳng đứng của công trình trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời khi sử dụng công nghệ định vị vệ tinh GPS.

4. Thực nghiệm xác định độ thẳng đứng công trình cao tầng bằng GPS

Chúng tôi đã thực nghiệm xác định độ thẳng đứng của công trình tháp A thuộc tổ hợp tòa tháp Keangnam Hà Nội trong quá trình thi công tại các chu kỳ 13, 14 và 15, tương ứng với các tầng 40, 43 và 46. Để xác định độ thẳng đứng của công trình này bằng công nghệ GPS, đơn vị thi công đã xây dựng hệ thống lưới khống chế

mặt đất bao gồm 4 điểm từ M1 đến M4 (hình 3). Các điểm X3Y18, X3Y21 và X5Y21- giao điểm của các trục cùng tên của công trình- là các điểm được chiếu lên từ sàn tầng 1 bằng máy chiếu đứng lazer và cũng là điểm dùng cho việc kiểm tra. Trong từng chu kỳ, sử dụng 4 máy thu tín hiệu Trimble R3 tiến hành đo tại các điểm của lưới khống chế và tại các điểm kiểm tra, tạo thành đồ hình lưới như ở Hình 3. Sau khi đo từng chu kỳ, lưới được xử lý bằng phần mềm GPSurvey 2.35. Để phục vụ cho việc xác định độ thẳng đứng công trình theo các thuật toán nêu trên, chúng tôi liệt kê dưới đây kết quả tọa độ vuông góc không gian của các điểm kiểm tra theo từng chu kỳ (bảng 2) [5].



Hình 3. Sơ đồ lưới thực nghiệm

Bảng 2. Tọa độ vuông góc không gian của các điểm kiểm tra

TT.	TÊN ĐIỂM	X (m)	Y (m)	Z (m)
CK1	X3Y18	-1620192.8789	5731855.5127	2273345.8485
	X3Y21	-1620210.7024	5731844.8009	2273360.0831
	X5Y21	-1620224.5473	5731847.0963	2273344.4577
CK13	X3Y18	-1620227.1281	5731976.7115	2273394.2322
	X3Y21	-1620244.9573	5731965.9369	2273408.4499
	X5Y21	-1620258.8129	5731968.2988	2273392.8402
CK14	X3Y18	-1620229.8591	5731986.3842	2273398.0823
	X3Y21	-1620247.7014	5731975.6742	2273412.3157
	X5Y21	-1620261.5477	5731977.9884	2273396.6981
CK15	X3Y18	-1620233.7196	5732000.0011	2273403.5334
	X3Y21	-1620251.5474	5731989.2839	2273417.7477
	X5Y21	-1620265.4083	5731991.5982	2273402.1391

Để xác định độ nghiêng của công trình trong các chu kỳ, chúng tôi xác lập một hệ tọa độ địa diện chân trời cho công trình, nhận điểm X3Y18 làm gốc tọa độ. Thực hiện việc tính chuyển tọa độ từ hệ tọa độ không gian địa tâm về hệ tọa độ địa diện chân trời theo thuật toán (3), thu được kết quả như ở bảng 3.

Bảng 3. Thành quả tọa độ địa diện chân trời

T.	TEN	T O A D O		
T	DIEM	x (m)	y (m)	z (m)
CK1	X3Y18	.0000	.0000	.0000
	X3Y21	15.2458	20.0652	.0090
	X5Y21	-1.4830	32.7637	-.0181
CK13	X3Y18	-.0080	-.0091	134.9190
	X3Y21	15.2431	20.0787	134.8670
	X5Y21	-1.4950	32.7694	134.9079
CK14	X3Y18	-.0190	-.0121	145.6820
	X3Y21	15.2231	20.0707	145.6970
	X5Y21	-1.5049	32.7654	145.6899
CK15	X3Y18	-.0071	-.0010	160.8490
	X3Y21	15.2212	20.0697	160.8470
	X5Y21	-1.4999	32.7785	160.8469

Từ đây, áp dụng điều kiện (5) đối với điểm X3Y18, điều kiện (7) đối với điểm X3Y21 và X5Y21 để kiểm tra độ thẳng đứng công trình. Kết quả thu được như ở Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả xác định độ nghiêng tại các điểm kiểm tra

T.	TEN	L E C H T O A D O		LECH
T	DIEM	HUONG x (m)	HUONG y (m)	TOAN PHAN(m)
CK13	X3Y18	-.008	-.009	.012
	X3Y21	-.003	.014	.014
	X5Y21	-.012	.006	.013
CK14	X3Y18	-.019	-.012	.023
	X3Y21	-.023	.005	.023
	X5Y21	-.022	.002	.022
CK15	X3Y18	-.007	-.001	.007
	X3Y21	-.025	.005	.025
	X5Y21	-.017	.015	.022

Các kết quả tính toán trên đây hoàn toàn phù hợp với các kết luận của [5].

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. Hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời có những đặc điểm rất thuận tiện cho việc nghiên cứu độ thẳng đứng công trình khi đo bằng công nghệ GPS. Với thủ tục tính chuyển đơn giản, có thể sử dụng ngay các thành phần tọa độ địa diện chân trời để xác định độ nghiêng (theo độ dài và góc) của công trình mà không cần tính chuyển về hệ tọa độ trắc địa và về hệ tọa độ phẳng của công trình.

5.2. Với những tính năng vượt trội, công nghệ GPS khắc phục được các nhược điểm của các phương pháp truyền thống khi xác định độ

thẳng đứng của công trình trong quá trình thi công, đặc biệt là đối với các công trình có chiều cao lớn.

5.3. Các đơn vị và tổ chức có tiền hành các công tác trắc địa trong xây dựng cần áp dụng hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời để xác định độ thẳng đứng công trình trong quá trình thi công khi đo bằng công nghệ GPS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Quang Phúc, Hoàng Thị Minh Hương, Khuất Minh Hằng, 2011. Nghiên cứu phương pháp tính chuyển tọa độ lưới GPS về hệ tọa độ thi công công trình. Tạp chí KHKT Mỏ-Địa chất, số 35, tr. 38-42.

[2]. TCXDVN 357:2005- Nhà và công trình dạng tháp - Quy trình quan trắc độ nghiêng bằng phương pháp trắc địa.

[3]. Ямбаев Х.К., Крылов В.И. О возможности использования спутниковых GPS/ГЛОНАСС измерений для контроля вертикальности при возведении высотных сооружений. Изв. ВУЗов, “Геодезия и аэрофотосъёмка”, No. 4-2009, с. 36-40.

[4]. Трехо Сото Мануэль. Применение топоцентрических прямоугольных координат при изучении деформаций крупных инженерных сооружений спутниковыми методами. Изв. ВУЗов, “Геодезия и аэрофотосъёмка”, No 5-2006, с. 53-60.

[5]. Vietnam Institute of Building Science and Technology- Report of tilt monitoring for block residence A of the Keangnam landmark tower project. Hanoi, April-2010.

SUMMARY

Applicability of GPS-technology to check the vertical of the projects during construction Nguyen Quang Phuc, Hoang Thi Minh Huong, Tran Thuy Linh

University of Mining and Geology

During construction, often using methods and traditional means to check the vertical of the project. However, with the big tall building, the traditional solutions proved ineffective, in many cases do not meet the requirements of construction. Content of the paper is to study methods of checking the vertical of the building is as tall in the construction process by GPS technology.