

# PHƯƠNG PHÁP CHUYỂN ĐỘ CAO GPS VỀ ĐỘ CAO THI CÔNG CÓ KỂ ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ LỆCH DÂY DỌI

ThS. **NGÔ XUÂN THẾ**

Viện KHCN Xây dựng

ThS. **ĐỖ NHƯ TÙNG**

Cục bản đồ Bộ Quốc phòng

*Tóm tắt: Trong giai đoạn hiện nay ở Việt Nam hệ thống độ cao được sử dụng khá phổ biến khi khảo sát, thiết kế và xây dựng các công trình là hệ độ cao thường  $H^Y$ , và được truyền độ cao bằng phương pháp thủy chuẩn hình học. Trong khi đó các điểm khống chế thi công được thành lập bằng công nghệ GPS lại cho kết quả là tọa độ và độ cao trong hệ tọa độ trắc địa (B, L, H) hoặc WGS-84 (X, Y, Z). Khi thi công xây dựng các công trình cầu, hầm xuyên núi, các công trình thủy điện,... cần phải truyền độ cao qua địa hình khó khăn như sông lớn, các đỉnh núi cao hiểm trở thì vấn đề truyền độ cao bằng công nghệ GPS sẽ cho phép giảm nhẹ khối lượng công việc so với đo cao hình học. Nhưng phải giải quyết vấn đề mấu chốt là tính chuyển độ cao GPS về hệ độ cao thi công công trình với độ chính xác bảo đảm yêu cầu của lưới khống chế độ cao trong trắc địa công trình. Bài báo này nêu ra phương pháp tính chuyển độ cao GPS về độ cao thi công có kể đến ảnh hưởng của độ lệch dây dọi.*

## 1. Xác định phương pháp và thuật toán tính chuyển độ cao GPS

Bằng công nghệ GPS có thể truyền tọa độ và độ cao tới các điểm khống chế cách xa hàng chục km với độ chính xác cao theo nguyên tắc đo GPS tương đối tĩnh. Kết quả đo GPS tương đối tĩnh sẽ xác định được các gia số tọa độ không gian  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  (trong hệ WGS-84) giữa hai điểm thu tín hiệu đồng thời. Thực hiện phép tính chuyển sang hệ tọa độ trắc địa ta sẽ có các đại lượng tương ứng  $\Delta B$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta H$ . Như vậy bằng công nghệ GPS chúng ta đã truyền độ cao từ một điểm sang điểm thứ hai, nếu biết độ cao của một trong hai điểm.

Tuy nhiên, giá trị độ cao H hoặc  $\Delta H$  xác định được là độ cao (hiệu độ cao) trắc địa của điểm đang xét (tức là độ cao của điểm đó so với bề mặt Ellipsoid WGS-84). Trong khi đó hệ độ cao được sử dụng phổ biến trong thi công xây dựng các công trình ở nước ta là hệ độ cao thường ( $H^Y$ ), tức là độ cao của điểm so với mặt Kwadigeoid.

Quan hệ giữa độ cao trắc địa và độ cao thường được xác định bằng công thức:

$$H^Y = H - \zeta \quad (1)$$

Trong đó:  $\zeta$  - dị thường độ cao tại điểm đo.

Nếu xác định được  $\zeta$  thì hoàn toàn có thể xác định được độ cao thường ( $H^Y$ ) dựa vào độ cao trắc địa (H) xác định bằng công nghệ GPS. Đây là vấn đề rất có ý nghĩa khi thi công xây dựng các công trình cầu vượt, hầm, công trình thủy điện,...

Ở đây các tác giả đưa ra cách giải quyết thực chất là vẫn phải chuyển độ cao trắc địa H về độ cao thủy chuẩn với việc tính dị thường độ cao  $\zeta$ , nhưng dị thường độ cao xuất hiện dưới dạng số hiệu chỉnh vào độ cao trắc địa gồm hai phần: dị thường độ cao tính theo  $\zeta_{84}$  và số hiệu chỉnh do định vị lại Elip WGS-84 cho phù hợp với geoid khu vực.

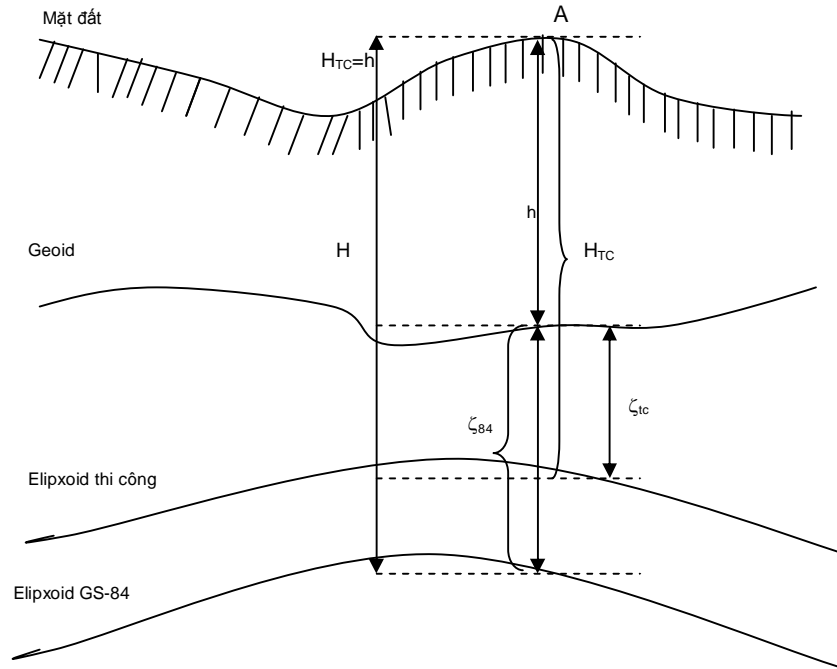
Các công trình nghiên cứu trước [3] đã chọn mặt Ellipsoid thi công theo nguyên tắc định vị lại Ellipsoid WGS-84 sao cho phù hợp hơn với geoid ở khu vực xây dựng. Geoid, Ellipsoid và dây dọi liên quan đến nhau, một cách định vị lại Ellipsoid WGS-84 cho phù hợp hơn với geoid cục bộ là kể đến ảnh hưởng của độ lệch dây dọi.

## 2. Nguyên lý tính chuyển độ cao GPS theo mặt Ellipxoip thi công

Trong một phạm vi không lớn có thể coi mặt geoid ở đây không gồ ghề lắm, ta xoay mặt Ellipsoid WG – 84 cho xấp xỉ với mặt geoid của khu vực và gọi là mặt Ellipsoid thi công. Mặt Ellipsoid thi công ở đây là mặt xác định qua điều kiện tổng bình phương chênh cao giữa nó và mặt geoid khu vực là nhỏ nhất.

$$\sum \xi_{TC}^2 = \min \quad (2)$$

Trong đó:  $\xi_{TC}$  - giá trị dị thường độ cao giữa mặt Ellipsoid thi công và mặt geoid khu vực.



**Hình 1.** Nguyên lý tính chuyển độ cao GPS theo mặt Ellipsoid thi công

Từ hình 1 ta có mối quan hệ giữa độ cao trắc địa  $H$  thu được bằng công nghệ GPS và độ cao thủy chuẩn  $h$  xác định bằng phương pháp thủy chuẩn hình học, được biểu diễn bằng công thức:

$$\begin{cases} H = h + \xi_{TC} \\ \xi_{84} = H - h \end{cases} \quad (3)$$

Với  $\xi_{84}$  - giá trị dị thường độ cao giữa mặt Ellipsoid WGS-84 và mặt geoid tại điểm xét.

$$\text{Mặt khác: } h = H_{TC} + \xi_{TC} \quad (4)$$

Nếu gọi  $\xi_{TC}$  là giá trị dị thường độ cao giữa mặt Ellipsoid thi công và mặt geoid khu vực tại điểm A ta có:

$$\xi_{TC} = \xi_{84} + d\xi \quad (5)$$

Đại lượng  $d\xi$  là sự thay đổi độ cao trắc địa của mặt Ellipsoid WGS – 84 do định vị lại Ellipsoid theo điều kiện (2).

Với giả thiết là phạm vi địa hình nghiên cứu nhỏ và tương đối bằng phẳng, trong quá trình tính toán xoay chuyển Ellipsoid thi công áp sát vào bề mặt geoid sao cho  $\sum \xi_{TC}^2 = \min$  thì góc xoay Euler  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  và hệ số tỷ lệ dài dm, da, df là rất nhỏ xấp xỉ bằng 0 nên ta có thể bỏ qua. Và nếu coi:  $dh \approx d\xi$  (6)

Ta có:

$$\xi_{TC} = \xi_{84} + \cos L.\Delta X + \cos B.\sin L.\Delta Y + \sin b.\Delta Z \quad (7)$$

Trong đó:  $\zeta_{TC}$  và  $\zeta_{84}$  - tham số tịnh tiến  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  trong (7) cần có ít nhất là 3 điểm vừa có độ cao GPS, vừa có độ cao thủy chuẩn. Khi có nhiều điểm song trùng ta tìm được  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  với điều kiện (6) khi đó sẽ có độ cao GPS thi công xấp xỉ bằng độ cao thủy chuẩn  $H_{TC} = h$ .

Với mỗi điểm đo trùng có tọa độ B, L và có giá trị dị thường độ cao  $\zeta_{84}$  ta có thể viết được một phương trình dưới dạng ma trận:  $V = B.X + L$  (8)

$B_i, L_i$  là vĩ độ và kinh độ của các điểm song trùng.

Giải hệ phương trình (8) theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất với điều kiện  $[VV] = \min$  sẽ xác định được các tham số chuyển dịch.

Tính giá trị:

$$dh = \cos B \cdot \cos L \cdot \Delta X + \cos B \cdot \sin L \cdot \Delta Y + \sin B \cdot \Delta Z \quad (9)$$

Tính độ cao thi công:  $H_{TC} = H + dh$  (10)

Như vậy mô hình tính chuyển động độ cao GPS có thể thực hiện theo hai phương án:

\* Có các điểm song trùng, số lượng điểm song trùng phải lớn hơn hoặc bằng ba điểm, khi đó tính giá trị  $\zeta_{84}$  theo công thức:  $\zeta_{84} = H - h$  (11)

Trong đó:  $H$  - độ cao trắc địa của điểm song trùng lấy từ kết quả đo GPS;

$h$  - độ cao thủy chuẩn của điểm song trùng.

\* Trong trường hợp khu vực xây dựng không có các điểm song trùng, có thể lấy giá trị  $\zeta_{84}$  từ kết quả nội suy dị thường độ cao cho các điểm đo GPS từ các phần mềm chuyên dụng như GPSurvey, Trimble Geomatics Office... và thực hiện quá trình tính toán như phương án 1.

**3. Tính chuyển độ cao định vị GPS về độ cao thi công thông qua mặt Ellipsoid trung gian có xét đến ảnh hưởng của độ lệch dây dọi**

Các bước tính toán như: Xác định mặt elip trung gian, tính quan hệ giữa góc O'le trong hệ tọa độ địa diện và xích đạo, và độ lệch dây dọi, tịnh tiến tâm elip với điều kiện không thay đổi tọa độ điểm gốc và biến đổi tọa độ trắc địa sau khi xoay đã được nêu ở [4].

Với cách làm như đã trình bày tại điểm P<sub>0</sub> pháp tuyến và đường dây dọi trùng nhau nhưng đã làm cho tâm Elip thay đổi và đạt được yêu cầu loại đi góc nghiêng giữa mặt phẳng chiếu của khu vực và mặt Ellipsoid. Để xác định độ lệch dây dọi có rất nhiều phương pháp, ví dụ như đo trùng thủy chuẩn và GPS ở nhiều điểm xung quanh điểm gốc cũng có thể sử dụng tư liệu đo trọng lực đã có. Nhưng các cách làm trên đều tốn kém, ở đây đề xuất cách làm cụ thể chỉ sử dụng một số điểm GPS có đo trùng thủy chuẩn rồi sử dụng công thức (12) tìm ra thành phần độ lệch dây dọi  $\varepsilon_\eta, \varepsilon_\xi$ .

$$\begin{aligned} dH &= \left[ e_1^2 \cos B_0 \sin(L_1 - L_0)(N_0 \sin B_0 - N_j \sin B_j) - (N_0 + H_0) \cos B_j \sin(L_j - L_0) \right] \varepsilon_\eta + \\ & \left[ e_1^2 \cos B_j \sin(L_j + L_0)(N_0 \sin B_0 - N_j \sin B_j) + (N_0 + H_0)(\sin B_j \cos B_0 - \sin B_0 \cos B_j \cos(L_j - L_0)) \right] \varepsilon_\xi \quad (12) \\ & = F_\eta \varepsilon_\eta + F_\xi \varepsilon_\xi \end{aligned}$$

Giả sử độ cao thường của điểm P<sub>j</sub> là h<sub>j</sub> ta tính được độ nghiêng của mặt Ellipsoid phụ trợ so với mặt phẳng chiếu theo công thức:  $l_j = H_j - (h_j - \Delta h)$  (13)

Sau khi tịnh tiến, độ cao trắc địa sẽ có thay đổi dH tính theo công thức:

$$v_j = dH_j + H_j - (h_j - \Delta h) \quad (14)$$

Đem công thức (12) thay vào công thức (14) ta được:  $v_j = a_j \Delta$  (15)

Trong công thức trên:  $a_j = (F_\eta, F_\xi)$   
 $\Delta = (\varepsilon_\eta, \varepsilon_\xi)^T$

Dựa theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất tính độ lệch dây dọi, trong đó:

$$\Delta = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (16)$$

Sau đó tìm được tọa độ không gian 3 chiều của các điểm sau khi xoay tịnh tiến theo công thức:

$$\begin{pmatrix} X'_i \\ Y'_i \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -(Z_i - Z_0) & Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 & 0 & -(X_i - X_0) \\ -(Y_i - Y_0) & X_i - X_0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos L_0 \sin B_0 & \sin L_0 \\ \sin L_0 \sin B_0 & -\cos L_0 \\ -\cos B_0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_\eta \\ \varepsilon_\xi \end{pmatrix} \quad (17)$$

Trong công thức (17),  $(X_i, Y_i, Z_i)$  của vế phải là tọa độ sau bình sai của các điểm GPS. Tọa độ sau khi xoay của các điểm là  $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$ , các tham số của Elip là  $a$  và  $e^2$ . Từ tọa độ vuông góc phẳng không gian, theo công thức quen thuộc tính tọa độ trắc địa  $(B_i, L_i, H_i)$  theo cách tính sau:

- Tính  $P = \sqrt{X^2 + Y^2}$  (18)

- Tính giá trị gần đúng  $B_0, \operatorname{tg} B_0 = \frac{Z}{P} (1 - e^2)^{-1}$  (19)

- Tính giá trị gần đúng  $L_0 = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 B_0 + b^2 \sin^2 B_0}}$  (20)

- Tính độ cao trắc địa  $H_0 = \frac{P}{\cos B_0} - N_0$  (21)

- Tính giá trị chính xác hơn của  $B$  theo công thức

$$\operatorname{tg} B_0 = \frac{Z}{P} \left( 1 - e^2 \frac{N_0}{N_0 + H} \right)^{-1} \quad (22)$$

Lập lại quá trình tính  $B$  từ (18) đến (22) để xác định giá trị  $B$  chính xác cho đến khi kiểm tra nếu  $|B - B_0| \leq \varepsilon$  thì kết thúc tính. Với  $\varepsilon$  là một số nhỏ tùy chọn bằng sai số tính toán chấp nhận, để sai số tính  $B$  ảnh hưởng đến kết quả tính tọa độ địa diện  $< 0.1\text{mm}$  ta lấy  $\varepsilon = 0.1$  radian. Sau khi tính được tọa độ trắc địa của các điểm, ta tiến hành tính tọa độ điểm trọng tâm lưới theo công thức:

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \\ L_0 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \\ H_0 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Có được tọa độ trắc địa mới và tọa độ điểm trọng tâm, tiến hành tính giá trị độ cao thi công của các điểm theo mục 2.

#### 4. Tính toán thực nghiệm

Lưới tính toán thực nghiệm là lưới tọa độ và độ cao phục vụ bố trí công trình Nhà máy sản xuất Ethanol nhiên liệu sinh học phía Bắc. Lưới gồm có 13 điểm, trong đó tọa độ của các điểm được đo bằng công nghệ GPS, độ cao đo bằng phương pháp thủy chuẩn hình học (gồm 7 điểm). Sau đó chúng tôi tiến hành chọn 4 điểm bất kỳ có đo trùng thủy chuẩn để tính toán thực nghiệm, tiếp theo tính độ cao thủy chuẩn của 3 điểm còn lại theo kết quả đo GPS.

a. Tính các thông số của Ellipsoid mới được kết quả:  $a_1 = 6378289.45975$ ;  $e^2_1 = 0.00669433335$ .

b. Lập hệ phương trình số hiệu chỉnh được ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh như sau:

## THI CÔNG XÂY LẬP - KIỂM ĐỊNH CHẤT LƯỢNG

**Bảng 1. Bảng tính hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh**

Hệ số	$\eta\varepsilon$	$\zeta\varepsilon$	$l$
BS-28	-19.550810	24.5719657	44.45575
BS-29	-226.520786	228.764711	44.45375
103410	506.703798	-564.553501	44.46975
II-63	-320.876712	338.446629	44.45975

c. Từ hệ phương trình số hiệu chỉnh đã lập ở bước 2 tiến hành lập hệ phương trình chuẩn và giải hệ phương trình chuẩn xác định được giá trị độ lệch dây dọi:  $\varepsilon_\eta = 3.021''$ ;  $\varepsilon_\zeta = 2.775''$

d. Tính tọa độ vuông góc không gian mới và tọa độ trắc địa của các điểm khi xét đến ảnh hưởng của độ lệch dây dọi và thông số mới của Ellipsoid:

**Bảng 2. Bảng tính tọa độ và độ cao trắc địa mới có xét đến ảnh hưởng độ lệch dây dọi**

STT	Tên điểm	B (o ' ")	L (o ' ")	H (m)
1	BS28	21 18 2.419978	105 15 23.651212	-107.859
2	103410	21 17 43.376671	105 15 5.393770	-108.681
3	DC2-01	21 18 6.927194	105 15 28.677882	-108.097
4	DC2-08	21 17 59.812762	105 15 20.093109	-107.842
5	DC2-09	21 17 57.257012	105 15 18.057749	-107.758

e. Tính chuyển từ độ cao trắc địa về độ cao thi công của các điểm trong lưới: Các bước tính toán tương tự như ở phần (2):

- Tính giá trị dị thường độ cao giữa mặt Ellipsoid WGS-84 và mặt geoid được kết quả sau:

**Bảng 3. Bảng tính dị thường độ cao  $\zeta_{84}$**

Tên điểm	H (m)	h (m)	$\zeta_{84}$ (m)
BS-28	-107.859	16.113	-123.972
BS-29	-107.726	16.413	-124.139
103410	-108.681	15.364	-124.045

- Lập hệ phương trình số hiệu chỉnh:

**Bảng 4. Bảng tính hệ số phương trình số hiệu chỉnh**

Tên điểm	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$Li$
BS-28	-0.245166	0.898852	0.363262	-123.972
BS-29	-0.245194	0.898832	0.363292	-124.139
103410	-0.245095	0.898906	0.363176	-124.045

Tính độ cao thi công theo công thức:  $H_{TC} = H + dh$  và so sánh với độ cao thi công đo bằng phương pháp thủy chuẩn hình học:

**Bảng 5. Bảng tính độ cao thi công và so sánh kết quả**

Tên điểm	Độ cao trắc địa H (m)	Giá trị dh (m)	Độ cao thi công công tính	Độ cao thi công đo	Chênh (mm)
DC2-01	-108.097	124.113	16.016	16.018	-2
DC2-08	-107.842	123.744	15.902	15.899	3
DC2-09	-107.758	123.847	16.089	16.084	5

### 5. Kết luận và kiến nghị

- Để ứng dụng một cách có hiệu quả công nghệ GPS trong việc xác định độ cao thi công, cần phải áp dụng đồng bộ một số biện pháp cần thiết như thiết kế và ước tính độ chính xác lưới GPS, các biện pháp đo đạc ngoại nghiệp và xử lý số liệu GPS nhằm nâng cao chất lượng lưới GPS, đáp ứng được các yêu cầu cần thiết về sử dụng độ cao trong trắc địa công trình;

- Khi sử dụng công nghệ GPS để xác định độ cao thi công cần tính chuyển độ cao thi công thông qua mặt Ellipsoid trung gian có kể đến độ lệch dây dọi;

## THI CÔNG XÂY LẬP - KIỂM ĐỊNH CHẤT LƯỢNG

---

- Tính chuyển độ cao trắc địa đo bằng công nghệ GPS về độ cao thủy chuẩn thông qua mặt Ellipsoid trung gian có kể đến độ lệch dây dọi cho kết quả gần với độ cao thủy chuẩn;

- Các kết luận nêu trên đều dựa trên các cơ sở khoa học và số liệu thực tế. Tuy nhiên để có thể áp dụng vào thực tế sản xuất cần tiếp tục nghiên cứu thêm ở một số công trình khác.

---

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

---

1. ĐỖ NGỌC ĐƯỜNG, ĐẶNG NAM CHINH. Bài giảng công nghệ GPS. *Trường Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội, 2003.*
2. ĐỖ NGỌC ĐƯỜNG, Cơ sở trắc địa vệ tinh – Bài giảng cho học viên cao học ngành trắc địa, *Trường Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội, 1996.*
3. TRẦN VIỆT TUẤN. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công trình ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, *Trường Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội, 2007.*
4. ĐỖ NHƯ TÙNG. “Sử dụng mặt Ellipsoid phụ trợ trong tính chuyển độ cao trắc địa xác định bằng công nghệ GPS về độ cao thủy chuẩn cho khu vực nhỏ”. *Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội, 2010.*