

PHƯƠNG ÁN TÍNH GIÁ TRỊ THỂ TRỌNG TRƯỜNG CỦA ĐIỂM GỐC ĐỘ CAO QUỐC GIA TẠI TRẠM NGHIỆM TRIỀU HÒN DẦU

Ngô Thị Mến Thương¹, Vũ Hồng Cường²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Cục Bản đồ, Bộ Tổng tham mưu

Tóm tắt

Trong bài báo này, các tác giả đã đề xuất phương án tính thể trọng trường cho điểm gốc độ cao quốc gia Hòn Dầu. Phương án thứ nhất tính theo mô hình geoid toàn cầu dạng lưới (grid) và số liệu các điểm đo GPS - thủy chuẩn. Phương án thứ hai tính theo các hệ số hàm điều hòa của mô hình thể trọng trường toàn cầu và các điểm đo GPS - thủy chuẩn. Từ đó so sánh, đánh giá kết quả tính toán của từng phương pháp.

Từ khóa: Thể trọng trường; Hòn Dầu; Mô hình trọng trường Trái đất; Geoid

Abstract

Calculation of the geopotential value for the national vertical datum Hon Dau

In this paper, the author has proposed variant for calculate geopotential number at tidal bench mark Hon Dau. The first variant is based on the geoid grid model and the GPS-leveling data. The second variant is based on the harmonic coefficients of the global gravity model and the GPS - leveling stations. After that comparing to evaluate the calculation results of each method.

Keywords: Geopotential; Hon Dau; Earth Gravity Model (EGM); Geoid

1. Đặt vấn đề

Trong bài toán xây dựng hệ thống độ cao cho một quốc gia hay khu vực, người ta thường quan tâm tới giá trị thể trọng trường của điểm gốc khởi tính độ cao. Việc biết được giá trị thể trọng trường tại điểm gốc độ cao quốc gia không đóng góp vào việc tăng độ chính xác của mô hình geoid/quasigeoid của nước đó. Tuy nhiên, nó có thể giúp nhanh chóng và dễ dàng chuyển đổi độ cao giữa các nước, các khu vực hoặc giữa đất liền với đảo xa mà không phải dẫn thủy chuẩn giữa các điểm gốc độ cao. Chính vì vậy, trong bài báo này tác giả đề xuất phương án tính giá trị thể trọng trường của điểm gốc độ cao quốc gia tại trạm nghiệm triều Hòn Dầu trên cơ sở hai phương pháp tính thể trọng trường cho một điểm bất kỳ theo hệ số hàm điều hòa và theo mô hình geoid

dạng lưới.

2. Giải quyết vấn đề

2.1. Cơ sở lý thuyết tính thể trọng trường tại một điểm bất kỳ

a. *Phương pháp tính thể trọng trường tại một điểm bất kỳ dựa vào hệ số hàm điều hòa cầu và tọa độ của điểm*

Thể trọng trường thực của Trái đất được biểu diễn ở dạng tổng quát khá đơn giản nhưng trên thực tế có cấu trúc rất phức tạp và không thể được mô tả bởi bất kỳ một hàm giải tích nào. Vì thế, để nghiên cứu xác định thể trọng trường và hình dạng thực của Trái đất, người ta đã sử dụng cách giải quyết hợp lý được thừa nhận rộng rãi từ lâu là tách ra một phần chính có thể xác định tương đối đơn giản, dễ dàng, rồi tập trung tìm kiếm phần còn lại vốn nhỏ hơn.

Việc xác định thế trọng trường tại một điểm bất kỳ dựa vào mô hình thế trọng trường toàn cầu theo hệ số hàm điều hòa cầu. Vì các mô hình thế trọng trường là tập hợp các hệ số hàm điều hòa cầu theo bậc, hạng được tính toán từ trước và công bố cho người dùng sử dụng.

Theo [1], định nghĩa thế của trọng lực tại một điểm bằng tổng của thế hấp dẫn V và thế ly tâm Φ :

$$W = W(x,y,z) = V + \Phi = G \int_{\Omega} \frac{\delta d\Omega}{r} + \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2) \quad (1)$$

Trong đó: (x,y,z) - tọa độ trong hệ tọa độ địa tâm của điểm xét

Ω - thể tích Trái đất

r - khoảng cách giữa điểm xét tới chất điểm khối lượng $\delta d\Omega$.

Trong thực tế, không thể tính thế của trọng lực W bằng biểu thức trên do không có thông tin chính xác về phân bố mật độ vật chất và hình dạng chính xác của Trái đất. Vì vậy, người ta thường xác định thế của trọng lực W gần đúng bằng cách sử dụng khai triển chuỗi hàm cầu. Theo [1, 2], công thức tính giá trị thế của trọng lực W sẽ được viết dưới dạng sau:

$$W(r, \varphi, \lambda) = \frac{GM}{r} \sum_{n=0}^{N_{\max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n \left(\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda \right) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) + \frac{\omega^2 r^2 \cos^2(\varphi)}{2} \quad (2)$$

Trong đó: GM - hằng số hấp dẫn Trái đất

r, φ, λ - tọa độ của điểm xét trong hệ tọa độ cực

a - bán trục lớn của ellipsoid tham chiếu

$\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$ - hàm số bổ trợ Legendre đã được chuẩn hóa

$\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ - Hệ số hàm điều hòa cầu của thế trọng trường thực đã được chuẩn hóa.

Hàm số bổ trợ Legendre đã được chuẩn hóa được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{n0}(t) &= 2^{-n} \sqrt{2n+1} \sum_{k=0}^{NM} (-1)^k \frac{(2n-2k)!}{k!(n-k)!(n-2k)!} t^{n-2k} \text{ khi } m=0 \\ \bar{P}_{nm}(t) &= 2^{-n} \sqrt{2(2n+1) \frac{(n-m)!}{(n+m)!} (1-t^2)^{m/2}} \sum_{k=0}^{NM} (-1)^k \frac{(2n-2k)!}{k!(n-k)!(n-m-2k)!} t^{n-m-2k} \text{ khi } m \neq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ở đây NM - số nguyên lớn nhất $\leq (n-m)/2$.

Theo [1], phép chuyển về tọa cực r, φ, λ từ tọa độ trắc địa B, L, H được biểu diễn qua hệ sau:

$$\begin{aligned} X &= (N+H) \cos B \cos L \\ Y &= (N+H) \cos B \sin L \\ Z &= (N(1-e^2) + H) \sin B \\ r &= \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \\ \tan \varphi &= \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}, \tan \lambda = \frac{Y}{X} \end{aligned} \quad (4)$$

Như vậy, sử dụng mô hình trọng trường toàn cầu dạng hàm điều hòa có

thể tính được thế của trọng lực theo mô hình đó tại một điểm bất kỳ khi biết tọa độ của nó. Hiện nay, với công nghệ định vị vệ tinh sử dụng các hệ thống GPS, GLONASS, GALILEO,... cho phép xác định tọa độ của điểm trên bề mặt Trái đất một cách nhanh chóng với độ chính xác cao. Vì vậy, khi có mô hình và kết quả định vị GNSS hoàn toàn có thể tính ra thế trọng trường tại điểm theo mô hình thế trọng trường được lựa chọn.

b. Tính thế trọng trường tại điểm bất kỳ theo mô hình geoid có thể trọng trường cho trước và tọa độ điểm.

Trong lý thuyết hình dạng Trái đất, mặt geoid được coi là hình dạng của Trái đất thực và được định nghĩa là mặt đẳng thế của trọng trường với thế $W=W_0$ đi qua điểm gốc độ cao, là mặt đẳng thế gần với mặt nước biển trung bình không nhiều trên các biển và đại dương.

Theo [1], tính chất thế trọng trường:

$$W_o - W_M = \int_o^M gdh \quad (5)$$

Trong đó: W_o là thế trọng trường thực trên mặt geoid đi qua điểm khởi tính O, g là giá trị trọng lực dọc tuyến đo từ O đến M, dh là chênh cao thủy chuẩn tại các trạm đo.

Từ công thức trên, muốn xác định thế trọng trường tại 1 điểm M bất kỳ trên mặt đất thực cần biết trước giá trị thế trọng trường W_o của mô hình geoid dạng lưới (grid), độ cao chuẩn của điểm đó so với mặt geoid h^γ . Giá trị W_o của mô hình geoid dạng lưới thường được công bố trước. Còn giá trị độ cao chuẩn của điểm có được thông qua mối liên hệ giữa độ cao trắc địa H^{TD} , dị thường độ cao ζ^{EGM} và độ cao chuẩn h^γ như sau:

$$h^\gamma = H^{TD} - \zeta^{EGM}, \quad (6)$$

Trong đó ζ^{EGM} được nội suy từ mô hình geoid dạng grid theo tọa độ trắc địa B,L của điểm M.

2.2. Phương pháp tính thế trọng trường tại điểm gốc độ cao quốc gia.

Tác giả đề xuất tính thế trọng trường tại điểm Hòn Dấu bằng hai cách với đầu vào đều là mô hình trọng trường hoặc geoid toàn cầu và dữ liệu GPS-TC của các điểm hạng I nhà nước như sau:

- Cách 1: Sử dụng lưới geoid toàn cầu có sẵn đã biết giá trị thế trọng trường W_0 (ví dụ geoid EGM2008) và các điểm độ cao Nhà nước hạng I. Khi đó, dựa vào lưới geoid toàn cầu và dữ liệu GPS-TC hạng I sẽ xác định được giá trị chênh trung bình $\Delta\zeta$ giữa giá trị

dị thường độ cao toàn cầu và dị thường độ cao GPS-TC trên tập hợp điểm đã cho. Từ $\Delta\zeta$ trung bình sẽ xác định được giá trị độ lệch thế trọng trường ΔW giữa mức gốc độ cao quốc gia và mức khởi điểm độ cao của mặt geoid quốc tế đã biết giá trị thế trọng trường W_o . Từ đó tính ra giá trị thế trọng trường tại điểm Hòn Dấu như lý thuyết đã chỉ ra ở trên.

- Cách 2: Tính trực tiếp giá trị thế trọng trường tại các điểm độ cao hạng I nhà nước bằng cách sử dụng hệ số hàm điều hòa của mô hình thế trọng trường toàn cầu và tọa độ BLH của điểm. Dựa vào độ cao của điểm trong hệ độ cao Hòn Dấu, sẽ tính ra giá trị thế trọng trường của điểm gốc độ cao Hòn Dấu. Từ mỗi điểm hạng I nhà nước sẽ xác định được 1 giá trị thế Hòn Dấu $W_{HD(i)}$. Giá trị trung bình xác định từ tập hợp các giá trị $W_{HD(i)}$ sẽ là giá trị thế trọng trường của điểm gốc độ cao.

2.3. Sai số xác định thế trọng trường tại điểm gốc độ cao

Theo [2], sai số tính W_{QG} thông qua điểm trung gian P nhận được theo công thức:

$$m_{W_{QG}}^2 = m_{W_P}^2 + \gamma^2 m_{h_P}^2 \quad (7)$$

Giá trị nhận được trên chứa các nguồn sai số của mô hình thế trọng trường toàn cầu, sai số vị trí điểm và sai số độ cao chuẩn của điểm trung gian so với gốc độ cao Hòn Dấu. Để hạn chế các nguồn sai số do định vị vị trí của điểm, hiện nay bình sai GPS sử dụng mạng lưới các trạm IGS quốc tế, các trạm CORS, DGPS trong nước, các phần mềm chuyên dụng đã có thể xác định được điểm với độ chính xác cỡ cm và sai số do vị trí điểm gây ra nhỏ so với các nguồn sai số khác, có thể bỏ qua.

Để giảm ảnh hưởng của sai số mô hình thế trọng trường toàn cầu có thể sử dụng một số mô hình hiện đại có độ chính xác cao hơn như các mô hình từ dự

án trọng lực vệ tinh CHAMP, GRACE, GOCE và các mô hình kết hợp giữa trọng lực vệ tinh, trọng lực mặt đất và EGM2008. Tuy nhiên trước khi sử dụng các mô hình đó cần phải có đánh giá đầy đủ, chính xác và so sánh chúng để tìm được mô hình thể trọng trường toàn cầu phù hợp cho lãnh thổ Việt Nam.

Việc tính thể trọng trường tại gốc độ cao Hòn Dấu thông qua điểm trung gian P dẫn tới ảnh hưởng của sai số độ cao chuẩn điểm P trong hệ độ cao quốc gia đến giá trị thể trọng trường tại Hòn Dấu là tương đối lớn. Nếu sai số độ cao chuẩn điểm P là 5cm sẽ dẫn tới sai số xác định giá trị thể trọng trường Hòn Dấu cỡ 0,49 m²/s². Để hạn chế nguồn sai số này, phương án tốt nhất là đo GPS/GLONASS xác định tọa độ điểm gốc độ cao quốc gia hoặc điểm trên bờ ngay gần đó có độ cao chuẩn độ chính xác cao (sai số độ cao

cỡ dưới 1mm, tương ứng với sai số tính thể trọng trường dưới 0,0098 m²/s²). Từ đó tính giá trị thể trọng trường điểm gốc Hòn Dấu gần như loại bỏ ảnh hưởng của sai số độ cao chuẩn của điểm.

2.4. Thực nghiệm

a. Số liệu thực nghiệm

Tác giả thực hiện việc tính toán giá trị thể của trọng trường tại điểm bất kỳ điểm có dữ liệu về tọa độ và độ cao chuẩn như đã đề cập đến. Dựa trên mô hình thể trọng trường EGM2008 và dữ liệu GPS trùng thủy chuẩn trên các điểm độ cao hạng I nhà nước [3] tác giả thực hiện việc tính được giá trị trung bình thể của trọng lực tại gốc độ cao Hòn Dấu.

b. Kết quả

Dựa vào cách 1 sử dụng mô hình geoid EGM2008 tính được giá trị thể $W_{HD} = 62636847.017 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

Bảng 1. Kết quả tính độ lệch dị thường độ cao GPSTC-EGM2008 theo cách 1

Tên điểm	h (tc 2008) (m)	Zeta GPSTC WGS 84 (m)	Zeta EGM 2008 WGS 84 (m)	Độ lệch GPSTC-EGM2008 theo cách 1 (m)
1	34.93	-29.403	-30.232	0.851
2	31.958	-29.212	-30.123	0.929
3	26.396	-28.938	-29.991	1.069
4	26.475	-28.861	-29.914	1.071
5	29.308	-28.27	-29.444	1.192
.....				
230	5.628	-5.166	-6.077	1.001
231	3.547	-4.332	-5.302	0.937
232	4.284	-15.014	-15.616	0.991
233	4.224	-3.168	-4.216	0.629
234	0.921	-2.685	-3.637	1.071

Từ bảng 1, nhận thấy giá trị Zeta EGM2008 WGS84 và độ lệch GPSTC - EGM2008:

	Zeta EGM2008 WGS84 (m)	Độ lệch GPSTC - EGM2008 (m)
Nhỏ nhất	-32.880	-0.115
Lớn nhất	4.736	1.657
Trung bình	-17.055	0.886
Trung phương	12.398	0.305

Nếu các điểm độ cao hạng I nhà nước có độ cao chuẩn đạt độ chính xác cỡ 5cm, độ cao trắc địa có độ chính xác cỡ 2cm thì độ chính xác xác định giá trị thể trọng trường tại điểm gốc độ cao Hòn Dấu W_{HD} sẽ được tính theo công thức:

$$m_{W_{HD}} = \overline{\gamma} \sqrt{m_{\zeta}^2 + m_{h'}^2 + m_H^2} = 9.785 * \sqrt{0.305^2 + 0.050^2 + 0.020^2} = 3.08 m^2 s^{-2} \quad (8)$$

Bảng 2. Giá trị thế trọng trường Hòn Dấu tính cho từng điểm theo mô hình EGM2008 bằng cách 2

Tên điểm	h (tc 2008) (m)	Zeta (m)	W_{HD} tính theo mô hình EGM2008 ($m^2.s^{-2}$)
1	34.93	-29.403	62636847.364
2	31.958	-29.212	62636846.632
3	26.396	-28.938	62636845.225
4	26.475	-28.861	62636845.199
5	29.308	-28.27	62636844.031
...	...	...	...
229	2.738	-5.759	62636845.935
230	5.628	-5.166	62636846.538
231	3.547	-4.332	62636845.987
232	4.284	-15.014	62636849.562
233	4.224	-3.168	62636845.245
234	0.921	-2.685	62636846.144

Từ bảng 2, nhận thấy giá trị WHD tính theo mô hình EGM2008:

	WHD tính theo mô hình EGM2008 ($m^2.s^{-2}$)
Nhỏ nhất	62636839.495
Lớn nhất	62636856.973
Trung bình	62636847.204
Trung phương	3.080

Theo cách 2 có thể tính giá trị thế tại một điểm bất kỳ theo các hệ số hàm điều hòa của một mô hình trọng trường toàn cầu. Từ đó tính được giá trị thế trọng trường điểm gốc độ cao Hòn Dấu là trung bình cộng của tất cả các giá trị thế Hòn Dấu tính theo điểm $iW_{HD} = 62636847.2042 m^2.s^{-2}$ theo mô hình EGM2008 tương ứng với độ lệch dị thường độ cao dựa trên mặt geoid

cực bộ Hòn Dấu và mặt geoid quốc tế là 0.899 m. Xin nhắc lại, geoid quốc tế nhắc đến ở đây là geoid có giá trị thế $W_0 = 626636856.00 m^2 s^{-2}$ ($W_0_EGM2008 \neq 62,636,856.0 m^2 s^{-2}$).

Độ chính xác xác định giá trị thế trọng trường tại điểm gốc độ cao Hòn Dấu W_{HD} ở trường hợp này sẽ được là giá trị độ lệch trung phương của thế

$$m_{W_{HD}} = \sqrt{m_W^2 + \overline{\gamma}^2 (m_{h'}^2 + m_H^2)} = \sqrt{3.08^2 + 9.785^2 (0.050^2 + 0.020^2)} = 3.15 m^2 s^{-2} \quad (9)$$

So sánh kết quả đạt được giữa các cách

Nhìn vào bảng 3, cả 3 kết quả tính W_{HD} dù tương đồng nhưng có sự khác biệt nhau. Trường hợp EGM2008 dùng theo hai cách nhưng sử dụng cùng một bộ số liệu GPS-TC nhưng kết quả cũng

khác nhau. Nguyên nhân vì lưới geoid EGM2008 từ nguồn của NGA là tập hợp các giá trị độ cao geoid. Giá trị tính trực tiếp từ hệ số hàm điều hòa thường sử dụng là dị thường độ cao (tương ứng với quasigeoid) được tính tối đa tới bậc và hạng 2190.

Bảng 3. Kết quả so sánh giữa các cách tính

Cách tính	Mô hình EGM2008 dạng lưới (cách 1)	Mô hình EGM2008 dạng hệ số (cách 2)
Giá trị $W_{HD} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	62636847.017	62636847.2042
Chênh cao giữa mức HD và geoid quốc tế (m)	0.918	0.899

3. Kết luận và kiến nghị

Dựa vào kết quả nghiên cứu lý thuyết và tính toán thực nghiệm rút ra một số kết luận sau:

- Hoàn toàn có thể tính được giá trị thế trọng trường Hòn Dấu dựa vào dữ liệu GPS-TC của các điểm độ cao nhà nước.

- Dựa vào cách 1 sử dụng mô hình geoid EGM2008 tính được giá trị thế $W_{HD} = 62636847.017 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$. Tương ứng với đó, độ lệch độ cao dựa trên mặt geoid cục bộ Hòn Dấu và mặt geoid quốc tế là 0.918 m.

- Dựa vào cách tính 2 đã xác định được giá trị thế $W_{HD} = 62636847.2042 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ khi sử dụng hệ số hàm điều hòa của mô hình EGM2008, tương ứng với độ lệch độ cao dựa trên mặt geoid cục bộ Hòn Dấu và mặt geoid quốc tế là 0.899 m.

- Sử dụng các mô hình thế trọng trường toàn cầu khác nhau sẽ cho kết quả thế trọng trường Hòn Dấu khác nhau. Tương tự như thế, khi sử dụng bộ số liệu các điểm GPS-TC khác nhau cũng cho kết quả khác nhau.

- Mô hình EGM2008 dạng lưới do NGA cung cấp là geoid toàn cầu. Để tương thích với hệ độ cao chuẩn Việt Nam cần chuyển thành quasigeoid.

- Để xác định chính xác giá trị thế trọng trường tại điểm gốc độ cao Hòn Dấu, cần tiến hành tính toán dựa trên các mô hình thế trọng trường toàn cầu độ chính xác cao, dữ liệu GPS-TC có độ tin cậy cao, quan tâm đến sự khác nhau giữa mặt geoid và mặt quasigeoid. Đặc biệt là cần thông tin về các trạm nghiệm triều và các mô hình mặt biển trung bình MSS tại các khu vực xung quanh trạm nghiệm triều.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Duy Kiều, Phạm Thị Hoa (chủ biên) (2013). *Giáo trình Trắc địa lý thuyết*. Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội.

[2]. Vũ Hồng Cường (2013). *Nghiên cứu phương pháp xây dựng mô hình quasigeoid theo dữ liệu vệ tinh trên lãnh thổ Việt Nam*. Luận án tiến sỹ (tiếng Nga) thực hiện tại Trường Đại học Trắc địa và Bản đồ Mátxcova - Liên bang Nga.

[3]. Trung Tâm Viễn thám Quốc gia (2010). *Báo cáo xây dựng mô hình Geoid địa phương ở Việt Nam*. Hà Nội, 37tr.

[4]. Phạm Hoàng Lân (chủ biên) (2012). *Giáo trình Trắc địa cao cấp đại cương*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 187 tr.

[5]. Đề án Xây dựng mô hình Geoid địa phương trên lãnh thổ Việt Nam (2006). Cục Đo đạc và Bản đồ - Bộ Tài nguyên và Môi trường. Hà Nội.

[6]. Đặng Hùng Võ, Lê Minh, Trần Bạch Giang và nnk (2009). *Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng hạ tầng kỹ thuật thông tin địa lý phục vụ hợp tác giải quyết một số vấn đề cơ bản về khoa học Trái đất trên lãnh thổ Việt Nam, khu vực và toàn cầu*. Báo cáo tổng kết khoa học và kỹ thuật Đề tài độc lập cấp Nhà nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường. Hà Nội.

[7]. Hà Minh Hòa (2012). *Nghiên cứu cơ sở khoa học của việc hoàn thiện Hệ độ cao gắn liền với việc xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia*. Báo cáo tổng kết khoa học và kỹ thuật. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Bộ Tài nguyên và Môi trường. Hà Nội.

[8]. Hà Minh Hòa (2012). *Xây dựng hệ độ cao dựa trên mặt geoid gắn với việc xây dựng hệ tọa độ động lực quốc gia*. Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ, số 12.

BBT nhận bài: 18/01/2018; Phản biện xong: 20/02/2018