



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Xác định thể trọng trường thực từ các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình thể trọng trường toàn cầu

Nguyễn Văn Sáng^{1,*}, Phạm Văn Tuyên²

¹ Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Phòng kỹ thuật, Công ty Cổ phần Dịch vụ và Thương mại 568, Việt Nam.

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 15/3/2017

Chấp nhận 10/6/2017

Đăng online 31/8/2017

Từ khóa:

Thể trọng trường

Hệ số điều hòa

Geoid cục bộ Việt Nam

Bài báo trình bày chi tiết các công thức toán học và xây dựng được chương trình xác định thể trọng trường thực W từ các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình thể trọng trường toàn cầu. Bài báo cũng đã xác định được thể trọng trường thực từ các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình thể trọng trường toàn cầu EGM2008 tại 4 trạm nghiệm triều (Cô Tô, Hòn Ngự, Phú Quốc, Côn Đảo) nằm dọc ven bờ và trên các đảo xa thuộc vùng biển Việt Nam, có đo GPS và thủy chuẩn độ chính xác cao. Từ đó, đã tính được thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam (W_{0-CBVN}). Kết quả tính toán thực nghiệm cho thấy: thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam $W_{0-CBVN} = 62636846.9843m^2s^{-2}$ với sai số trung phương $\pm 0.0132 m^2s^{-2}$.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Để xây dựng được mô hình thể trọng trường Trái đất, xây dựng hệ độ cao hiện đại dựa trên mặt geoid và giải quyết bài toán xác định mô hình geoid toàn cầu độ chính xác cao thì chúng ta cần biết thể trọng trường thực W_0 của mặt geoid toàn cầu. Mặt Geoid toàn cầu được hiểu là mặt đẳng thế sát nhất với mặt biển trung bình nhiều năm trên các biển và các đại dương thế giới. Nhờ các kết quả đo cao vệ tinh, người ta đã xác định được thể trọng trường thực W_0 của mặt geoid toàn cầu. Theo tổ chức Dịch vụ quay trái đất quốc tế (The International Celestial Reference System - ICRS), thể trọng trường thực của mặt geoid toàn cầu W_0

= $62636856.0 m^2s^{-2}$ với sai số trung phương ở mức $\pm 0.5 m^2s^{-2}$ (<https://www.iers.org/IERS>). Với thể trọng trường thực mặt của Geoid toàn cầu này, Cơ quan Tri thức - Địa không gian quốc gia (The National Geospatial - Intelligence Agency - NGA) của Mỹ đã xây dựng nên mô hình thể trọng trường Trái đất EGM2008 với các hệ số hàm điều hòa cầu chuẩn hóa cấp $n = 2190$ và bậc $m = 2159$. Khi chúng ta đã có các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình thể trọng trường Trái đất EGM thì chúng ta hoàn toàn xác định được thể trọng trường thực W của bất kỳ điểm nào khi biết tọa độ của nó. Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ giới thiệu chi tiết các công thức tính thể trọng trường thực từ các hệ số hàm điều hòa cầu và sử dụng các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình EGM2008 để xác định thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam.

*Tác giả liên hệ

E-mail: nguyenvansang@humg.edu.vn

2. Công thức tính thế trọng trường thực W từ các hệ số hàm điều hòa cầu

Thế trọng trường thực của Trái đất W được biểu diễn dưới dạng (NIMA, 2000):

$$W = V + \Phi \tag{1}$$

Trong đó: V - thế hấp dẫn; Φ - là thế của lực li tâm.

Thế của lực li tâm Φ được xác định bằng biểu thức:

$$\Phi = \frac{1}{2} \omega^2 (X^2 + Y^2) \tag{2}$$

Trong đó: ω - tốc độ quay của trái đất; X, Y, Z - tọa độ vuông góc không gian của điểm xét được xác định theo công thức (NIMA, 2000):

$$\begin{aligned} X &= (N+H) \cos B \cos L \\ Y &= (N+H) \cos B \sin L \end{aligned} \tag{3}$$

$$Z = ((b^2 / a^2) \cdot N + H) \sin B$$

Trong đó: N - là bán kính của vòng thẳng đứng thứ nhất, tính bằng công thức (NIMA, 2000):

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$$

B, L, H - tương ứng là độ vĩ trắc địa; độ kinh trắc địa và độ cao trắc địa của điểm xét;

Thế hấp dẫn V được xác định bằng biểu thức (NIMA, 2000):

$$V = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{N_{max}} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^n \left(\bar{C}_{n,m} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{n,m} \sin(m\lambda) \right) \bar{P}_{n,m}(\sin \varphi) \right] \tag{4}$$

Trong đó: GM - hằng số trọng trường địa tâm; r- bán kính địa tâm của điểm xét;

a - bán kính bán trục lớn của ellipsoid;

φ, λ - là tọa độ địa tâm của điểm xét;

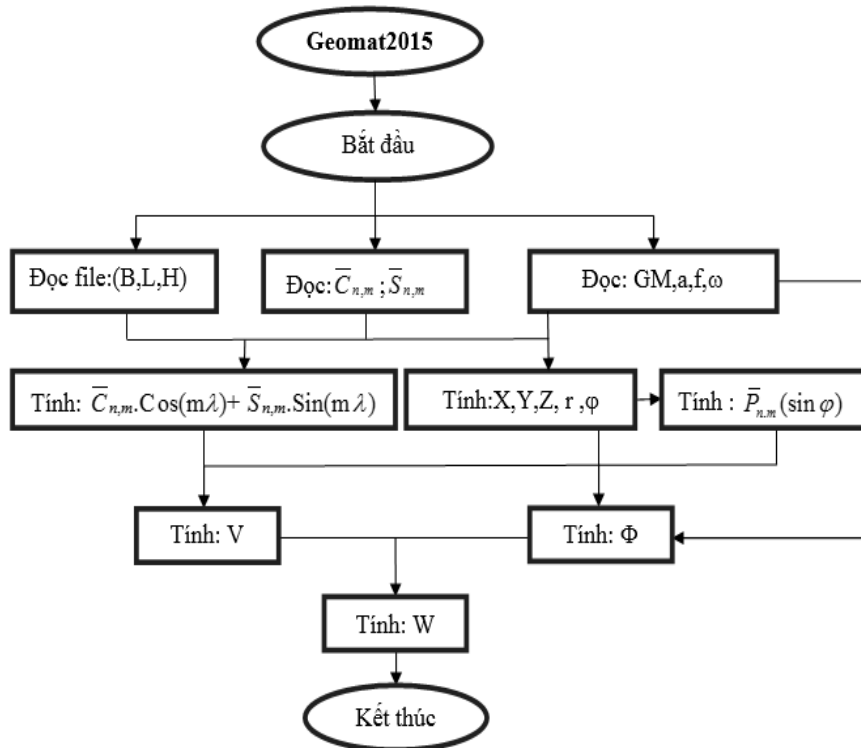
$\bar{C}_{n,m}, \bar{S}_{n,m}$ - hệ số điều hòa cầu chuẩn hóa đầy đủ bậc n, hạng m;

$\bar{P}_{n,m}(\sin \varphi)$ - hàm Legendre kết hợp đã chuẩn hóa.

Các công thức tính các giá trị: r, $\varphi, \lambda, \bar{P}_{n,m}(\sin \varphi), \cos(m\lambda), \sin(m\lambda)$ được trình bày chi tiết trong (Nguyễn Văn Sáng, Phạm Văn Tuyên, 2016; Phạm Văn Tuyên, Nguyễn Văn Sáng, 2016).

3. Xây dựng chương trình tính thế trọng trường thực W từ các hệ số điều hòa cầu

Trên cơ sở các công thức trình bày ở trên, chúng tôi đã tiến hành xây dựng chương trình tính



Hình 1. Sơ đồ khối của chương trình Geomat2015 tính thế trọng trường thực (W).

thể trọng trường thực W của điểm bất kỳ khi cho biết các thành phần tọa độ trắc địa (B, L, H) của các điểm cần tính. Chương trình tính thể trọng trường thực được phát triển từ chương trình **Geomat2015** được viết bằng ngôn ngữ lập trình Matlab (Nguyễn Văn Sáng, Phạm Văn Tuyên, 2016). Các chương trình con dùng để tính thể trọng trường thực W gồm có: *EGM_ReadCnmSnm.m*; *radgra.m*; *sinmlcosml.m*; *legfdn.m*; *W1.m*; *W2.m*; *W_EGM.m*. Chương trình này được chạy trực tiếp trên nền của phần mềm Matlab2013a. Sơ đồ khối của chương trình được trình bày trên Hình 1.

Các tham số hình học và vật lý được sử dụng trong chương trình để tính thể trọng trường thực W khi sử dụng hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình EGM2008:

- Bán kính bán trục lớn của ellipsoid: $a = 6378136.58$ m;
- Độ dẹt của ellipsoid $1/f = 298.257686$;
- Hằng số trọng trường trái đất: $GM = 3.986004415E+14$ m³/s²;
- Tốc độ quay của trái đất: $\omega = 7.292115E-5$ rad/s;

4. Tính toán thực nghiệm

Trong phần thực nghiệm này, nhóm tác giả đã sử dụng các hệ số hàm điều hòa cầu chuẩn hóa cấp $n = 2190$ và bậc $m = 2159$ của mô hình thể trọng trường toàn cầu EGM2008 để xác định thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam.

Các hệ số hàm điều hòa của mô hình thể trọng trường toàn cầu EGM2008 trong hệ không phụ thuộc triều (tide_free system). Do đó, trước khi tính thể trọng trường thực W bằng chương trình **Geomat2015** cần chuẩn hóa dữ liệu độ cao sao cho phù hợp với hệ triều mà mô hình EGM2008 đang sử dụng. Công thức tính chuyển độ cao geoid

giữa hệ triều không (zero-tide geoid) và hệ không phụ thuộc triều như sau (Hà Minh Hòa, 2014):

$$N_n = N_z - (2.97 - 8.88\sin^2\varphi) \text{ (cm)} \quad (5)$$

Trong đó: N_z - Độ cao geoid trong hệ triều không.

N_n - Độ cao geoid trong hệ không phụ thuộc triều.

4.1. Xác định thể trọng trường thực trên mặt geoid toàn cầu W_0

Để chứng minh tính đúng đắn của lý thuyết cũng như chương trình **Geomat2015**, nhóm tác giả đã sử dụng một số trạm nghiệm triều của Việt Nam có tọa độ điểm xét nằm trên mặt geoid toàn cầu để tính lại thể trọng trường thực của mặt này. Để thực hiện được điều này cần tiến hành một số bước sau:

Bước 1: Sử dụng các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình EGM2008 và chương trình **Geomat2015** để tính ra độ cao geoid toàn cầu $N_{EGM2008(i)}$ của 4 trạm nghiệm triều (Cô Tô, Hòn Ngự, Phú Quốc, Côn Đảo) nằm dọc ven bờ và trên các đảo xa thuộc vùng biển Việt nam, có đo GPS và thủy chuẩn độ chính xác cao (Hà Minh Hòa, 2015). Mục đích của bước này là để xác định được các điểm xét có tọa độ ($B_{(i)}, L_{(i)}, H_{(i)} = N_{EGM2008(i)}$) của các trạm nghiệm triều là đang nằm trên mặt Geoid toàn cầu.

Bước 2: Sử dụng tọa độ ($B_{(i)}, L_{(i)}, H_{(i)} = N_{EGM2008(i)}$) của 4 trạm nghiệm triều này cùng với các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình EGM2008 và chương trình **Geomat2015** để tính thể trọng trường thực tại từng trạm đó. Thể trọng trường tính được chính là thể trọng trường thực trên mặt geoid toàn cầu tại các trạm nghiệm triều này.

Bước 3: Tính giá trị thể trọng trường thực trung bình của 4 điểm và so sánh với giá trị do ICRS công nhận. Các kết quả tính toán trình bày chi tiết ở Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả tính độ cao geoid và thể trọng trường thực của mặt geoid toàn cầu tại 4 nghiệm triều.

Tên trạm	$B_{(i)}$	$L_{(i)}$	$H_{(i)} = N_{EGM2008(i)}$ (m) (tide_free geoid)	$W_{0(i)}$ (m ² .s ⁻²)	$\delta_{(i)}$ (m ² .s ⁻²)
Cô Tô	20.973939	107.774897	-22.7330	62636855.9932	-0.0068
Hòn Ngự	18.801386	105.776614	-24.5037	62636855.9922	-0.0078
Phú Quốc	10.217008	103.957069	-12.8822	62636855.9897	-0.0102
Côn Đảo	8.681078	106.609239	0.9819	62636855.9893	-0.0106
Trung bình				62636855.9911	-0.0089

Bảng 2. Kết quả tính thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam tại 4 trạm nghiệm triều.

Tên trạm	$B_{(i)}$	$L_{(i)}$	$H_{(i)} = N_{GPS-TC(i)}$ (tide_free geoid)	$W_{0-CBVN(i)}$ ($m^2.s^{-2}$)	$\delta_{(i)}$ ($m^2.s^{-2}$)	$\delta^2_{(i)}$ ($m^4.s^{-4}$)
Cô Tô	20.973939	107.774897	-21.8105	62636846.9651	-0.0192	0.00037
Hòn Ngư	18.801386	105.776614	-23.5856	62636847.0082	0.0239	0.00057
Phú Quốc	10.217008	103.957069	-11.9589	62636846.9581	-0.0262	0.00069
Côn Đảo	8.681078	106.609239	1.9003	62636847.0059	0.0216	0.00047
Trung bình:				62636846.9843	Σ	0.0021

Trong Bảng 1: Độ lệch $\delta_{(i)}$ là độ lệch của kết quả tính $W_{0(i)}$ tại các trạm nghiệm triều so với W_0 thể giới công bố là: $62636856.0 m^2s^{-2}$

Kết quả tính toán thống kê ở Bảng 1 cho thấy: Độ lệch của thể trọng trường thực giữa kết quả tính được so với kết quả của ICRS công nhận là rất nhỏ ($\delta_{TB} = -0.0089m^2/s^2$). Kết quả này chứng tỏ các công thức trình bày và chương trình **Geomat2015** là hoàn toàn chính xác.

4.2. Xác định thể trọng trường thực trên mặt geoid cục bộ Việt Nam

Cũng tương tự như việc xác định thể trọng trường thực trên mặt geoid toàn cầu W_0 ở mục 4.1. Để xác định được thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam. Chúng ta cần xác định được tọa độ của các điểm xét phải nằm trên bề mặt geoid cục bộ Việt Nam.

Tại 4 trạm nghiệm triều có đo GPS và thủy chuẩn chính xác. Từ số liệu này chúng ta tính được độ cao Quasigeoid cục bộ Việt Nam tại các điểm này. Trên biển, ta coi mặt geoid và Quasigeoid trùng nhau, do đó đây cũng chính là độ cao Geoid cục bộ Việt Nam. Sau khi đưa về hệ không phụ thuộc triều, chúng ta sẽ có tọa độ của các điểm xét nằm trên mặt geoid cục bộ Việt Nam có tọa độ là: ($B_{(i)}, L_{(i)}, H_{(i)} = N_{GPS-TC(i)}$). Vì độ cao thủy chuẩn của các điểm này đều được dẫn từ Hòn Dấu - Hải Phòng, nên các điểm này nằm trên mặt geoid cục bộ của Việt Nam. Các số liệu này cũng đã được chuyển về hệ triều phù hợp.

Dùng các điểm xét có tọa độ ($B_{(i)}, L_{(i)}, H_{(i)} = N_{GPS-TC(i)}$) và chương trình Geomat2015 để tính thể trọng trường thực của geoid cục bộ Việt Nam tại 4 điểm nghiệm triều trên. Kết quả tính toán được thống kê ở Bảng 2.

Trong Bảng 2: $\delta_{(i)} = W_{0-CBVN(i)} - W_{0-CBVN(Trung\ bình)}$.

Giá trị thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam: $W_{0-CBVN} = 62636846.9843m^2s^{-2}$ với sai số trung phương:

$$m_{W_{0-CBVN}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \delta_i^2}{n.(n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{0.0021}{4(4-1)}} = \pm 0.0132m^2.s^{-2} \quad (6)$$

Độ lệch giữa thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam và thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Hòn Dấu - Việt Nam do PGS. TSKH. Hà Minh Hòa tính trong (Hà Minh Hòa, 2015) là:

$\Delta W = 62636846.9843 m^2s^{-2} - 62636847.2911 m^2 s^{-2} = -0.3068 m^2s^{-2}$ tương ứng với độ lệch về độ cao $\Delta H = -0.3068 m^2s^{-2} / 9.785 ms^{-2} = -0.0314m$. Độ lệch này rất nhỏ, tuy nhiên để có thể đánh giá một cách chính xác và khách quan về độ lệch thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Hòn Dấu - Việt Nam giữa hai phương pháp tính thì cần có số liệu đo chính xác GPS-TC tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu.

5. Kết luận

Các kết quả tính thể trọng trường thực W bằng chương trình Geomat2015 được so sánh với kết quả của The International Celestial Reference System - ICRS công bố đã khẳng định sự đúng đắn cả về cơ sở lý thuyết và tính toán thực nghiệm của chương trình tính.

Chương trình Geomat2015 có thể dùng để tính thể trọng trường thực W từ các hệ số điều hòa cầu của các mô hình trường trọng lực toàn cầu khác nhau cho các điểm bất kỳ khi biết các thành phần tọa độ trắc địa (B, L, H) của các điểm cần tính.

Theo kết quả tính thực nghiệm: Thể trọng trường thực của mặt geoid cục bộ Việt Nam $W_{0-CBVN} = 62636846.9843m^2s^{-2}$ với sai số trung phương: $\pm 0.0132 m^2s^{-2}$.

Tài liệu tham khảo

Hà Minh Hòa, 2014. Lý thuyết và thực tiễn của trọng lực trắc địa. *Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật*, Hà Nội

Hà Minh Hòa, 2015. Nghiên cứu đánh giá các mặt chuẩn mực nước biển (mặt "0" độ sâu, trung bình và cao nhất) theo các phương pháp trắc địa, hải văn và kiến tạo hiện đại phục vụ xây dựng các công trình và quy hoạch đới bờ Việt Nam trong xu thế biến đổi khí hậu. *Báo cáo tổng hợp kết quả nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ*. Hà Nội.

<https://www.iers.org/IERS>.

http://earthinfo.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html.

<http://icgem.gfz Potsdam.de/ICGEM/shms/egm2008.gfc>.

Nguyễn Văn Sáng, Phạm Văn Tuyên, 2016. Xác định độ cao Geoid và Dị thường trọng lực từ các hệ số hàm điều hòa cầu. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất* 53, 58 - 62.

NIMA, 2000. Department of Defense World Geodetic System 1984. *National Imagery and Mapping Agency*, America.

Pham Van Tuyen, Nguyen Van Sang, 2016. Assesment of precision of height anomalies and gravity anomalies calculated from the global geopotential models in Viet Nam territory. *GMMT* 2016 (193 - 197), Ha Noi university of mining and geology.

ABSTRACT

Determination of gravity potential from spherical harmonic coefficients of the Global Geopotential Model

Sang Van Nguyen ^{1,*}, Tuyen Van Pham ²

¹ Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Technical Department, JSC service and commercial 568, Vietnam

The article presents the detailed mathematical formulas for determination of gravity potential (W) from spherical harmonic coefficients of the Global Geopotential Models (GGMs) and established a computer program by Matlab programming language. The gravity potential have been calculated by using spherical harmonic coefficients of the Earth Gravitational Model EGM2008 at the tidegauges (Cô Tô, Hòn Ngư, Phú Quốc, Côn Đảo) along the coast and on the islands in the sea of Vietnam. At the tidegauges have GPS and leveling data with high precision. The result of experimental calculation has shown that: The gravity potential of the local geoid of VietNam (W_{0-CBVN}) are $62636846.9843\text{m}^2\text{s}^{-2}$ with an accuracy of about $\pm 0.0132\text{m}^2\text{s}^{-2}$.

Keywords: Harmonic coefficients, gravity potential, the local geoid of Vietnam.