

XÁC ĐỊNH DỊ THƯỜNG ĐỘ CAO TỪ SỐ LIỆU DỊ THƯỜNG TRỌNG LỰC THEO PHƯƠNG PHÁP LSC

NGUYỄN VĂN SÁNG, *Trường Đại học Mở-Địa chất*
 NGUYỄN THÀNH LÊ - *Học viện Kỹ thuật Quân sự*
 Email: nguyenvansang@humg.edu.vn

Nghiên cứu xây dựng các mô hình độ cao Geoid/Quasigeoid quốc gia và khu vực là nhiệm vụ khoa học chủ yếu của trắc địa cao cấp. Công nghệ GNSS ra đời cho phép xác định được độ cao trắc địa so với mặt ellipsoid. Để có được độ cao chuẩn cần phải có dị thường độ cao. Vì vậy, vấn đề xây dựng quasigeoid (thực chất là xác định dị thường độ cao) với độ chính xác ngày càng cao đang là vấn đề thời sự.

Trên thế giới, việc xác định dị thường độ cao cho một khu vực có thể được thực hiện từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau như: số liệu đo GPS-thủy chuẩn; số liệu đo trọng lực trực tiếp trên mặt đất, số liệu trọng lực vệ tinh, số liệu trọng lực hàng không,... Đo trọng lực vệ tinh là công nghệ tiên tiến của thế giới, cho phép xác định dị thường trọng lực và dị thường độ cao với độ chính xác cao trên khoảng cách khoảng 100 km [11]. Việc xác định dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực đã được các nhà khoa học trên thế giới thực hiện, một trong những phương pháp được ứng dụng là phương pháp LSC (Least Squares Collocation) [5], những công bố về mô hình dị thường độ cao gần đây nhất đều sử dụng phương pháp này, như mô hình GDQM-PL13 của Ba Lan có mật lưới 1'x1' [0], mô hình NZGeoid2016 của New Zealand [1].

Vấn đề xác định dị thường độ cao ở Việt Nam cũng đang là vấn đề có tính thời sự. Một số nhà khoa học nghiên cứu về vấn đề này [2], [3], [6], [9], [10]. Tuy nhiên, xác định dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực bằng phương pháp LSC thì chưa được quan tâm đúng mức. Trong bài báo này, tác giả sẽ trình bày cụ thể nội dung lý thuyết phương pháp, quy trình tính toán và kết quả tính toán trên một khu vực thực nghiệm.

1. Cơ sở lý thuyết và quy trình tính toán

1.1 Xác định dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực theo phương pháp LSC

Theo phương pháp LSC [5], giả sử nếu ta có n điểm có giá trị dị thường trọng lực $\Delta g_1, \Delta g_2, \dots, \Delta g_n$, khi đó dị thường độ cao của điểm P sẽ được nội suy theo công thức:

$$\zeta_P = K_{1 \times n}^T(\Delta g, \zeta_P) \times [K(\Delta g, \Delta g) + C_{\Delta g}]_{n \times n}^{-1} \times \Delta g_{n \times 1} \quad (1)$$

Độ chính xác được đánh giá theo công thức:

$$\sigma_P^2 = K_{1 \times 1}(\zeta_P, \zeta_P) - K_{1 \times n}^T(\Delta g, \zeta_P) \times [K(\Delta g, \Delta g) + C_{\Delta g}]_{n \times n}^{-1} \times K_{n \times 1}(\Delta g, \zeta_P) \quad (2)$$

Trong đó: $C_{\Delta g}$ - Ma trận hiệp phương sai của sai số xác định dị thường trọng lực; Δg - Giá trị dị thường trọng lực:

$$K_{1 \times n}^T(\Delta g, \zeta_P) = [K(\Delta g_1, \zeta_P) \quad K(\Delta g_2, \zeta_P) \quad \dots \quad K(\Delta g_n, \zeta_P)] \quad (3)$$

$$K(\Delta g, \Delta g) = \begin{bmatrix} K(\Delta g_1, \Delta g_1) & K(\Delta g_1, \Delta g_2) & \dots & K(\Delta g_1, \Delta g_n) \\ K(\Delta g_2, \Delta g_1) & K(\Delta g_2, \Delta g_2) & \dots & K(\Delta g_2, \Delta g_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K(\Delta g_n, \Delta g_1) & K(\Delta g_n, \Delta g_2) & \dots & K(\Delta g_n, \Delta g_n) \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (4)$$

$$C_{\Delta g} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n}; \quad \Delta g_{n \times 1} = \begin{bmatrix} \Delta g_1 \\ \Delta g_2 \\ \dots \\ \Delta g_n \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (5)$$

Các giá trị hiệp phương sai K được xác định theo công thức [7]:

$$K(...)=a \sum_{i=2}^N d_i \frac{(l-1)^2}{r_i \cdot r_j} \left(\frac{R^2}{r_i \cdot r_j} \right)^{l+1} \cdot P_l(\cos \psi) + \sum_{l=N+1}^{\infty} \frac{A}{(l-2) \cdot (l+b)} \frac{(l-1)}{r_i \cdot r_j} \left(\frac{R^2}{r_i \cdot r_j} \right)^{l+1} \cdot P_l(\cos \psi). \quad (6)$$

Với các tham số cần xác định là a , d_i , N , A , và R_B . Việc xác định các tham số được thực hiện bằng cách xác định các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm, sau đó dựa trên các giá trị thực nghiệm nhận được sẽ được xấp xỉ với hàm lý thuyết để tìm ra giá trị xác suất nhất.

1.2. Kết hợp số liệu dị thường trọng lực với số liệu dị thường độ cao

Phương pháp LSC cho phép kết hợp số liệu dị

thường trọng lực với số liệu dị thường độ cao để tính ra dị thường độ cao của các điểm. Giả sử trong khu vực ta có n điểm có giá trị dị thường trọng lực $\Delta g_1, \Delta g_2, \dots, \Delta g_n$ và m điểm có giá trị dị thường độ cao (được từ số liệu GPS-thủy chuẩn) $\zeta_1^{GPS-TC}, \zeta_2^{GPS-TC}, \dots, \zeta_m^{GPS-TC}$. Khi đó, theo phương pháp LSC [0], dị thường độ cao của một điểm P thuộc vùng có số liệu sẽ được làm khớp theo công thức:

$$\zeta_P = \begin{bmatrix} K(\Delta g, \zeta_P) \\ K(\zeta^{GPS-TC}, \zeta_P) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} K(\Delta g, \Delta g) + C_{\Delta g \Delta g} & K(\Delta g, \zeta^{GPS-TC}) \\ K^T(\Delta g, \zeta^{GPS-TC}) & K(\zeta^{GPS-TC}, \zeta^{GPS-TC}) + C_{\zeta^{GPS-TC} \zeta^{GPS-TC}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta g \\ \zeta^{GPS-TC} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Trong đó: $C_{\Delta g \Delta g}$, $C_{\zeta^{GPS-TC} \zeta^{GPS-TC}}$ - Các ma trận hiệp phương sai của sai số đo dị thường trọng lực và dị thường độ cao GPS-TC;

$$K^T(\Delta g, \zeta_P) = [K(\Delta g_1, \zeta_P) \quad K(\Delta g_2, \zeta_P) \quad \dots \quad K(\Delta g_n, \zeta_P)]; \quad (8)$$

$$K^T(\zeta^{GPS-TC}, \zeta_P) = [K(\zeta_1^{GPS-TC}, \zeta_P) \quad K(\zeta_2^{GPS-TC}, \zeta_P) \quad \dots \quad K(\zeta_m^{GPS-TC}, \zeta_P)]; \quad (9)$$

$$K(\Delta g, \Delta g) = \begin{bmatrix} K(\Delta g_1, \Delta g_1) & K(\Delta g_1, \Delta g_2) & \dots & K(\Delta g_1, \Delta g_n) \\ K(\Delta g_2, \Delta g_1) & K(\Delta g_2, \Delta g_2) & \dots & K(\Delta g_2, \Delta g_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K(\Delta g_n, \Delta g_1) & K(\Delta g_n, \Delta g_2) & \dots & K(\Delta g_n, \Delta g_n) \end{bmatrix}; \quad (10)$$

$$K(\zeta^{GPS-TC}, \zeta^{GPS-TC}) = \begin{bmatrix} K(\zeta_1^{GPS-TC}, \zeta_1^{GPS-TC}) & K(\zeta_1^{GPS-TC}, \zeta_2^{GPS-TC}) & \dots & K(\zeta_1^{GPS-TC}, \zeta_m^{GPS-TC}) \\ K(\zeta_2^{GPS-TC}, \zeta_1^{GPS-TC}) & K(\zeta_2^{GPS-TC}, \zeta_2^{GPS-TC}) & \dots & K(\zeta_2^{GPS-TC}, \zeta_m^{GPS-TC}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K(\zeta_m^{GPS-TC}, \zeta_1^{GPS-TC}) & K(\zeta_m^{GPS-TC}, \zeta_2^{GPS-TC}) & \dots & K(\zeta_m^{GPS-TC}, \zeta_m^{GPS-TC}) \end{bmatrix}; \quad (11)$$

$$K(\Delta g, \zeta^{GPS-TC}) = \begin{bmatrix} K(\Delta g_1, \zeta_1^{GPS-TC}) & K(\Delta g_1, \zeta_2^{GPS-TC}) & \dots & K(\Delta g_1, \zeta_m^{GPS-TC}) \\ K(\Delta g_2, \zeta_1^{GPS-TC}) & K(\Delta g_2, \zeta_2^{GPS-TC}) & \dots & K(\Delta g_2, \zeta_m^{GPS-TC}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K(\Delta g_n, \zeta_1^{GPS-TC}) & K(\Delta g_n, \zeta_2^{GPS-TC}) & \dots & K(\Delta g_n, \zeta_m^{GPS-TC}) \end{bmatrix}; \quad (12)$$

$$C_{\zeta^{GPS-TC} \zeta^{GPS-TC}} = \begin{bmatrix} C_{\zeta_1^{GPS-TC} \zeta_1^{GPS-TC}} & C_{\zeta_1^{GPS-TC} \zeta_2^{GPS-TC}} & \dots & C_{\zeta_1^{GPS-TC} \zeta_m^{GPS-TC}} \\ C_{\zeta_2^{GPS-TC} \zeta_1^{GPS-TC}} & C_{\zeta_2^{GPS-TC} \zeta_2^{GPS-TC}} & \dots & C_{\zeta_2^{GPS-TC} \zeta_m^{GPS-TC}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{\zeta_m^{GPS-TC} \zeta_1^{GPS-TC}} & C_{\zeta_m^{GPS-TC} \zeta_2^{GPS-TC}} & \dots & C_{\zeta_m^{GPS-TC} \zeta_m^{GPS-TC}} \end{bmatrix}; \Delta g = \begin{bmatrix} \Delta g_1 \\ \Delta g_2 \\ \dots \\ \Delta g_n \end{bmatrix}; \zeta = \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \dots \\ \zeta_m \end{bmatrix}; \quad (13)$$

1.3 Quy trình tính toán dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực

Từ cơ sở lý thuyết được trình bày ở trên các bước tính được thực hiện theo quy trình H.1.

2. Thực nghiệm xác định dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực kết hợp với số liệu GPS-thủy chuẩn theo phương pháp LSC

2.1 Giới thiệu số liệu

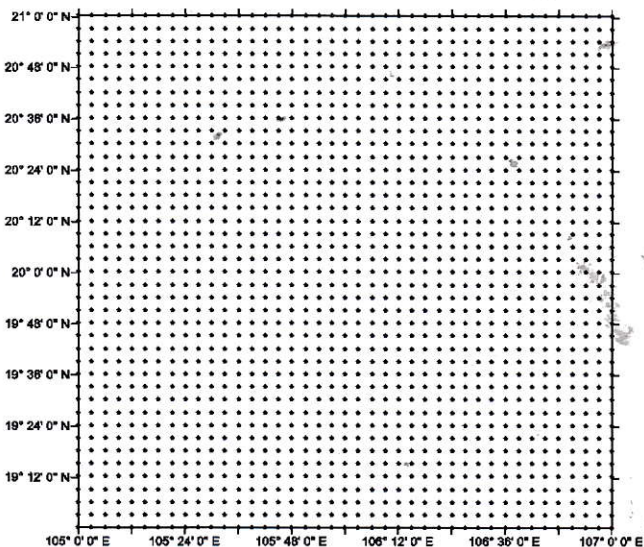
Để kiểm chứng cơ sở lý thuyết, tác giả tính toán thực nghiệm với bộ số liệu được xác định từ mô hình thể trọng trường toàn cầu EGM2008 với các hệ số điều hòa cầu của mô hình tới cấp và bậc 2190. Các tính toán này được thực hiện bằng chương trình "Geoegm.py" [8]. Số liệu dị thường trọng lực: phạm vi số liệu dị thường trọng lực có vĩ độ từ $19^\circ \div 21^\circ$, kinh độ từ $105^\circ \div 107^\circ$; độ rộng $2^\circ \times 2^\circ$,

mắt lưới 3' x 3', tổng số điểm là 1681 điểm, số liệu được thể hiện trên hình H.2.

Số liệu dị thường độ cao: Phạm vi số liệu dị thường độ cao có vĩ độ từ $19,25^\circ \div 20,75^\circ$, kinh độ từ $105,25^\circ \div 106,75^\circ$; độ rộng $1,5^\circ \times 1,5^\circ$, mắt lưới 5' x 5', tổng số điểm tính là 360 điểm, số liệu được thể hiện trên hình H.3.



H.1. Sơ đồ quy trình xác định dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực kết hợp với số liệu dị thường độ cao GPS-thủy chuẩn theo phương pháp LSC



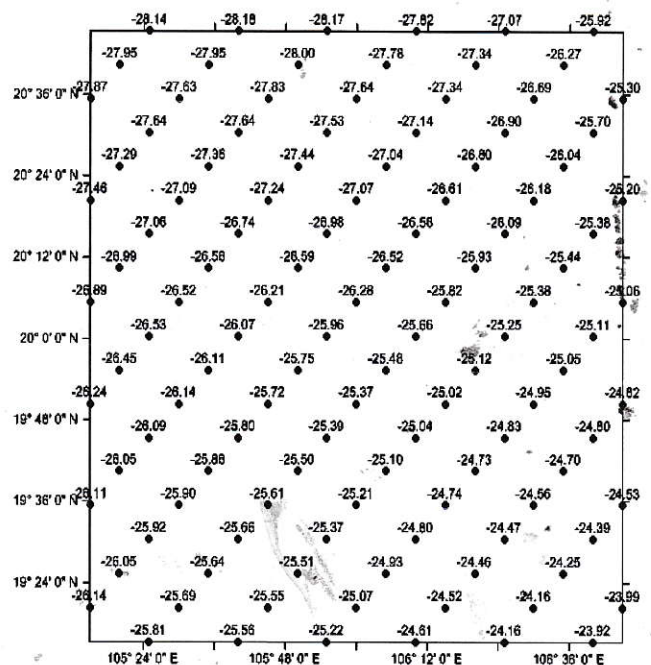
H.2. Sơ đồ phân bố số liệu dị thường trọng lực

Số liệu dị thường độ cao được chia là 2 phần: 120 điểm đưa vào tính toán và 240 điểm để kiểm tra. Sơ đồ phân bố các điểm dùng để tính toán và kiểm tra như trên hình H.4 và H.5.

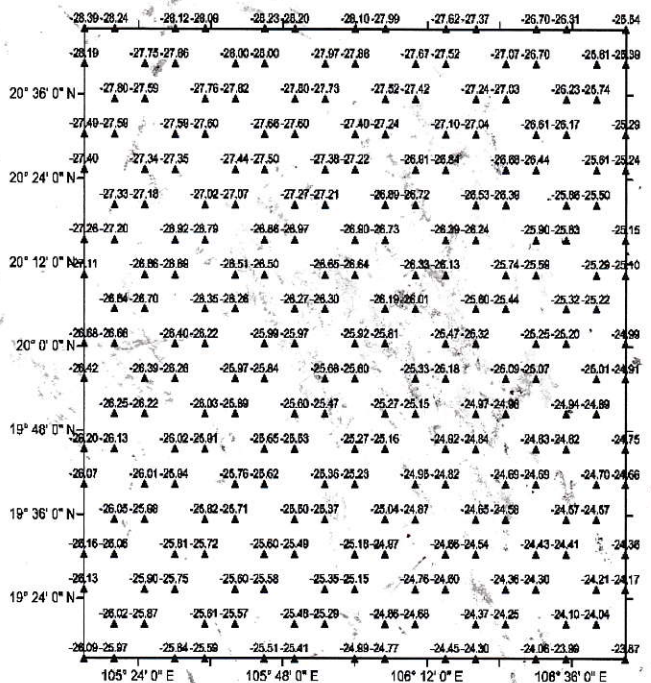
2.2 Xác định các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết

Từ các giá trị dị thường trọng lực chúng ta tính được các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm bằng chương trình "Empcov.py" trong gói phần mềm GRAVSOFT [8].

Các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm này được làm khớp với hàm hiệp phương sai lý thuyết để xác định ra các tham số của hàm này.



H.3. Số liệu dị thường độ cao dùng để tính toán

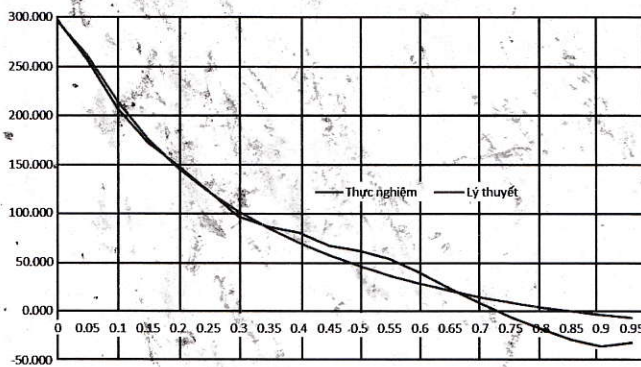


H.4. Số liệu dị thường độ cao dùng để tính toán

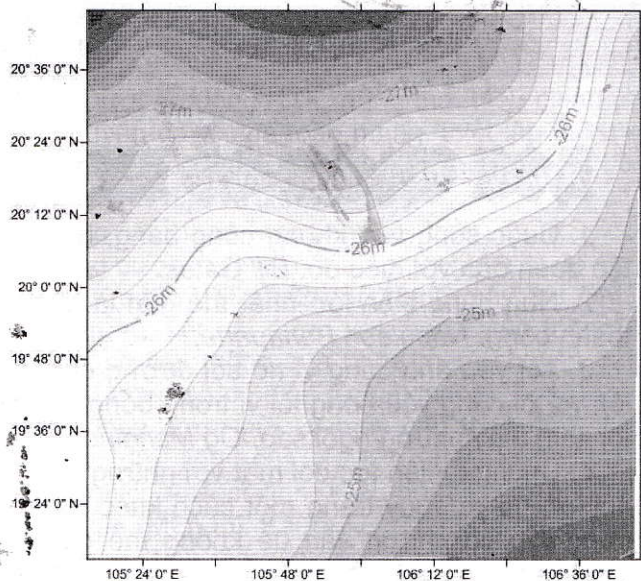
Các tính toán này được thực hiện bằng chương trình "Covfit.py" [8]. Kết quả làm khớp giữa phương sai lý thuyết và thực nghiệm được thể hiện trên Bảng 1, mối tương quan giữa hàm lý thuyết và giá trị thực nghiệm được thể hiện trên hình H.4. Từ kết quả làm khớp, nhận được: $N=98$; $a=0,33 \cdot 10^6$; $R_B-R=-1,04868$ km, $A=68,06$ (m/s)⁴, phương sai của dị thường trọng lực là 618,96 mgal².

Bảng 1. Kết quả làm khớp giá trị hiệp phương sai thực nghiệm và hàm hiệp phương sai lý thuyết

№	$\psi_i (^\circ)$	Hiệp phương sai		№	$\psi_i (^\circ)$	Hiệp phương sai	
		Thực nghiệm	Lý thuyết			Thực nghiệm	Lý thuyết
1	0.05	257.170	261.8509	11	0.55	53.520	36.3411
2	0.10	207.820	214.7496	12	0.60	39.345	27.9556
3	0.15	172.625	176.7767	13	0.65	23.022	20.6388
4	0.20	149.363	146.6196	14	0.70	7.938	14.2626
5	0.25	123.258	122.0898	15	0.75	-5.568	8.7209
6	0.30	96.640	101.6961	16	0.80	-17.976	3.9245
7	0.35	85.934	84.4586	17	0.85	-28.559	-0.2032
8	0.40	80.078	69.713	18	0.90	-35.737	-3.7284
9	0.45	66.981	56.9917	19	0.95	-32.094	-6.7094
10	0.50	61.566	45.9535				



H.6. Đồ thị hàm hiệp phương sai thực nghiệm và lý thuyết



H.7. Kết quả tính dị thường độ cao biểu diễn bằng đường bình độ và màu sắc

2.3 Kết quả tính toán dị thường độ cao

Từ các tham số a , d_i , N , A , và R_B được xác định, tiến hành thực nghiệm tính dị thường độ cao từ số

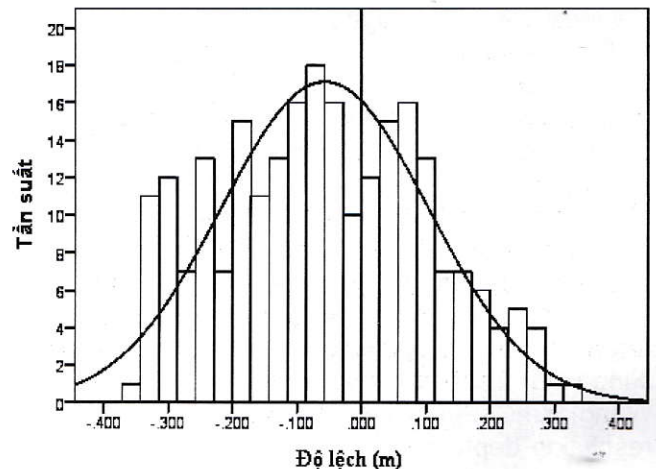
liệu dị thường trọng lực và số liệu dị thường độ cao cho khu vực có kích thước: vĩ độ $19,25^\circ \div 20,75^\circ$, kinh độ $105,25^\circ \div 106,75^\circ$; độ rộng $1,5^\circ \times 1,5^\circ$, mắt lưới $5' \times 5'$. Các tính toán được thực hiện bằng chương trình "Geocol.py" [8]. Kết quả tính dị thường độ cao được thể hiện trên hình H.7. Các thống kê vắn tắt như sau: giá trị dị thường độ cao trung bình $\zeta_{tb} = -25,98$ m, dị thường độ cao nhỏ nhất $\zeta_{min} = -28,12$ m, dị thường độ cao lớn nhất $\zeta_{max} = -24,18$ m.

2.4. Đánh giá độ chính xác

Để đánh giá độ chính xác của kết quả tính, chúng tôi sử dụng 240 điểm có giá trị dị thường độ cao độc lập để so sánh. Các kết quả đánh giá như sau:

- Độ lệch lớn nhất: $\delta\zeta_{max} = 0,32$ m;
- Độ lệch nhỏ nhất: $\delta\zeta_{min} = 0,01$ m;
- Độ lệch trung bình $\delta\zeta_{TB} = 0,06$ m;
- Độ lệch trung phương: $\pm 0,17$ m;

Trên hình H.8 là biểu đồ biểu diễn tần suất và giá trị độ lệch. Hình H.8 cho thấy độ lệch có xu thế tuân theo luật phân bố chuẩn.



H.8. Biểu đồ phân bố độ lệch dị thường độ cao

3. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu trên đây, chúng tôi rút ra một số kết luận như sau:

➤ Phương pháp LSC có quy trình tính toán như trình bày trong bài báo cho phép xác định dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực;

➤ Kết quả tính toán dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực lấy từ mô hình EGM2008 trên khu vực thực nghiệm (độ vĩ từ $19,25^{\circ}$ ÷ $20,75^{\circ}$, độ kinh từ $105,25^{\circ}$ ÷ $106,75^{\circ}$) đạt độ chính xác $\pm 0,17$ m. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Land information New Zealand, New Zealand Vertical Datum 2016.
2. Lê Minh, 2005. Xây dựng mô hình Geoid địa phương trên lãnh thổ Việt Nam, Hội Trắc địa-Bản đồ-Viễn Thám Việt Nam.
3. Małgorzata Szelachowska and Jan Kryński, 2014. GDQM-PL13 - the new gravimetric quasigeoid model for Poland, Geoinformation Issues Vol 6: 5-19.
4. Natural Resources Canada, Canadian Geodetic Vertical Datum CGVD2013.
5. Нейман Ю.М. Вариационный метод физической геодезии и коллокация. Гравиметрия и геодезия (Редактор Бровар Б.В.). Москва. Издательство "Научный Мир". 2010.
6. Nguyễn Duy Đô, 2012. Nghiên cứu chính xác hóa dị thường độ cao EGM-2008 dựa trên số liệu GPS - thủy chuẩn trên phạm vi cục bộ ở Việt Nam. Luận án tiến sĩ. Trường Đại học Mở-Địa Chất.
7. Nguyễn Văn Sáng, 2013. Xác định dị thường trọng lực và dị thường độ cao từ kết quả của vệ tinh gradient trọng lực GOCE tại Việt Nam, Tạp chí KHKT Mở-Địa Chất (42): 83-92.
8. Rene Forsberg, C.C. Tscherning, 2008. Geodetic Gravity Field Modelling Programs. National Space Institute and Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Denmark.
9. Tscherning and Carl Christian, 2001. Computation of spherical harmonic coefficients and their error estimates using least-squares collocation, Journal of Geodesy 75: 12-18.
10. Vũ Hồng Cường, 2013. Thiết kế phương pháp xây dựng Quasigeoid theo các trị đo vệ tinh trên lãnh thổ Việt Nam, Luận án Tiến sĩ, trường Đại học Trắc địa Bản đồ Moskva.
11. Yu-Shen Hsiao, Cheinway Hwang, Yung-Sheng Cheng, Liang-Chien Chen, Hung-Jui Hsu, Jung-Huo Tsai, Chien-Liang Liuc, Ching-Chieh Wang, Ya-Chi Liub and Yu-Chi Kao, 2016. High-resolution depth and coastline over major atolls of South China sea from Satellite altimetry and imagery, Remote Sensing of Environment 176: 69-83.

Ngày nhận bài: 19/07/2018

Ngày gửi phản biện: 16/09/2018

Ngày nhận phản biện: 27/11/2018

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/04/2019

Từ khóa: *dị thường trọng lực, dị thường độ cao, collocation bình phương nhỏ nhất*

SUMMARY

The main purpose of the paper is determination of the height anomalies from gravity anomalies data by the Least Squares Collocation method (LSC). The paper presents the theory of the Least Squares Collocation method and the process of calculating height anomalies by this method. Experimental calculations are performed on the area (Latitude $19,25^{\circ}$ ÷ $20,75^{\circ}$, Longitude $105,25^{\circ}$ ÷ $106,75^{\circ}$) with data of gravity anomalies, computed from the Earth Gravity Model EGM2008. The experimental results are compared with the standard data to estimate. The results show that the LSC method allows to determine the height anomalies from gravity anomalies data. In the experimental area, the height anomalies are determined with the accuracy of ± 0.17 m.

THỜI TRẠNG THẾ GIỚI

1. Cuộc sống vốn không công bằng, hãy tập quen dần với điều đó. *Bill Gates*.
2. Nhà hùng biện lớn nhất thế giới là sự thành công. *Napoleon Bonaparte*.
3. Tôi yêu ánh sáng vì nó soi đường cho tôi, và tôi cũng yêu bóng tối vì trong bóng tối tôi nhìn thấy những ngôi sao. *Og Mandino*.
4. Chúng ta liên tục đối mặt với những cơ hội lớn được ngụy trang một cách khéo léo trong lớp vỏ những vấn đề không thể giải quyết được. *Lee Lacocca*.
5. Thành công là một thầy giáo tồi. Nó khiến cho những người thông minh ảo tưởng rằng họ không thể bị thất bại. *Bill Gates*.

VTH sưu tầm