

XÁC ĐỊNH HÀM HIỆP PHƯƠNG SAI TRONG TÍNH TOÁN DỊ THƯỜNG ĐỘ CAO TỪ SỐ LIỆU DỊ THƯỜNG TRỌNG LỰC

Nguyễn Thành Lê¹, Nguyễn Văn Sáng², Lê Thị Thanh Tâm²

¹ Trường Đại học Lê Quý Đôn; ² Trường Đại học Mở - Địa Chất;
E-mail: nguyenthanhle@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp xác định các giá trị của hiệp phương sai thực nghiệm, và các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết trong tính dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực bằng phương pháp Collocation. Cơ sở lý thuyết xác định hàm hiệp phương sai đã được nghiên cứu chi tiết. Dựa trên cơ sở lý thuyết, nhóm tác giả đã xác định được các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm và các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết cho dữ liệu thử nghiệm thuộc khu vực miền Trung Việt Nam bằng chương trình EMPCOV và COVFIT trong bộ phần mềm GRAVSOFIT. Từ các bộ tham số tìm được, đã xác định được bộ tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết tốt nhất ($N = 1172$; $f = 28,04$; $A = 0,18.10^6$; Phương sai = $289,18 \text{ mGal}^2$; $R_B - R_E = -0,075 \text{ km}$; $RMS = 17,72 \text{ mGal}^2$).

Từ khóa: Dị thường trọng lực, dị thường độ cao, phương pháp Collocation trung phương, hàm hiệp phương sai thực nghiệm, hàm hiệp phương sai lý thuyết.

1. Đặt vấn đề

Least Square Collocation (LSC) là phương pháp được sử dụng phổ biến trong Trắc địa, đặc biệt là Trắc địa vật lý trong tính dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực, phục vụ xây dựng geoid/quasigeoid đối với một khu vực hay với một quốc gia. Năm 2014, Ba Lan đã sử dụng phương pháp này để xây dựng quasigeoid của mình [9]. Tại Iran, năm 2019, các tác giả cũng sử dụng phương pháp LSC để xây dựng mô hình geoid quốc gia [8]. Trong [1], các tác giả cũng sử dụng phương pháp này để xác định dị thường trọng lực từ số liệu đo cao vệ tinh.

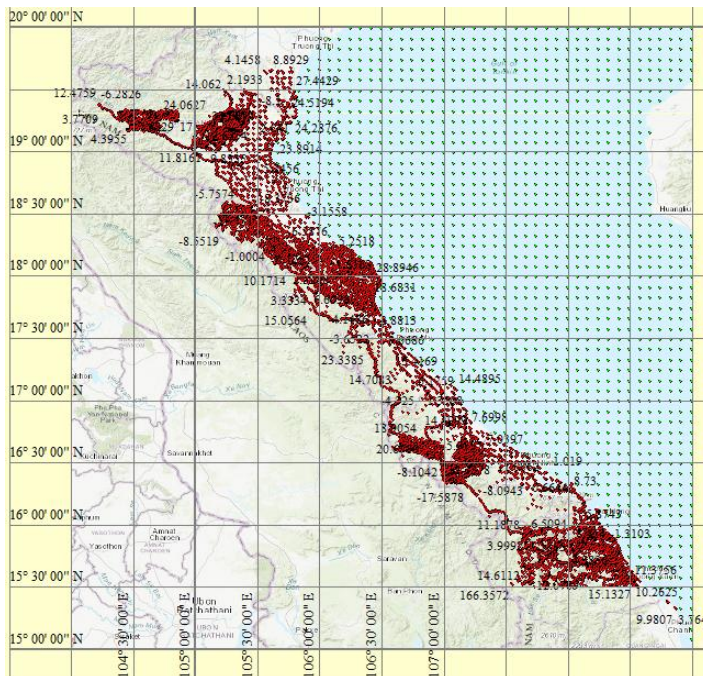
Theo phương pháp LSC, để tính được dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực hoặc từ số liệu kết hợp nhất thiết phải xác định được bộ tham số trong phương trình tính chuyên gồm: hệ số N , giá trị phương sai V_{arg} , hiệu của bán kính cầu Bjerhammar và bán kính trung bình của trái đất $R_B - R_E$ và hệ số tỷ lệ f . Theo cơ sở lý thuyết, dựa trên số liệu đầu vào ta sẽ xác định được các giá trị của hàm hiệp phương sai thực nghiệm, bước tiếp theo là xác định các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết dựa trên việc làm khớp hàm lý thuyết với hàm thực nghiệm. Các tham số tìm được của hàm lý thuyết chính là tham số của phương trình tính chuyên, là cốt lõi của nội dung phương pháp LSC. Như vậy, trong nội dung bài báo, nhóm tác giả chỉ tập trung trình bày về cơ sở lý thuyết xác định các hàm hiệp phương sai, thực nghiệm xác định các hàm hiệp phương sai cho số liệu thuộc một khu vực nghiên cứu. Việc tính toán hiện nay thường được thực trên hai modul “EMPCOV” và

“COVFIT” trong gói phần mềm GRAVSOFT của nhóm tác giả Forsberg[4]. Từ số liệu dị thường trọng lực còn dư, sử dụng chương trình “EMPCOV” để xác định được hàm hiệp phương sai thực nghiệm. Bước tiếp theo, sử dụng chương trình “COVFIT” xác định các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết dựa trên cơ sở so sánh kết quả tính với các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm. Các tham số cần tìm được thực hiện theo phương pháp thủ công bằng cách thay đổi các giá trị cần tìm là đầu vào của chương trình “COVFIT” và thực hiện thay thế dần sao cho có được kết quả bộ tham số được coi là tối ưu nhất. Công việc này yêu cầu người sử dụng chương trình phải có kiến thức chuyên sâu và nhiều kinh nghiệm. Với mỗi bộ tham số tìm được, người sử dụng cần phải lưu ra các file riêng biệt, thực hiện biểu diễn đồ thị độ khớp giữa hiệp phương sai lý thuyết và hiệp phương sai thực nghiệm trên phần mềm Excel để xác định được bộ các tham số tối ưu.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực và dữ liệu nghiên cứu

Giới hạn khu vực thực nghiệm có vĩ độ từ $15^{\circ} \div 20^{\circ}$, kinh độ từ $104^{\circ} \div 109^{\circ}$, kích thước vùng tính $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. Lãnh thổ Việt Nam gồm các tỉnh từ Nghệ An đến Quảng Nam - Đà Nẵng và một phần Thanh Hóa. Lãnh hải là phạm vi thuộc Biển Đông.



Hình 1. Khu vực thực nghiệm và dữ liệu tính
(● dị thường trọng lực đất liền; ● dị thường trọng lực biển)

Dữ liệu trọng lực trong tính toán là dữ liệu dị thường trọng lực không khí tự do (FA: Free Air) bao gồm dữ liệu đất liền và dữ liệu trên biển. Trên đất liền: 9442 trị đo dị thường trọng lực chân không (không khí tự do). Dữ liệu dị thường chân không trên biển: 1430 điểm, mắt lưới $5' \times 5'$, là số liệu được trích xuất từ mô hình trường trọng lực biển toàn cầu

HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA VỀ CÔNG NGHỆ ĐỊA KHÔNG GIAN TRONG KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ MÔI TRƯỜNG

có độ phân giải cao DTU17GRA[2]. Hình 1 mô tả khu vực thực nghiệm và dữ liệu dị thường trọng lực chân không thuộc phạm vi đất liền, biển. Dị thường trọng lực của mô hình EIGEN-6C4 được tính từ trang Web của Trung tâm quốc tế về các mô hình trái đất toàn cầu[5].

Nguồn dữ liệu được quy chiếu trong hệ tọa độ WGS84, hệ triều thuộc hệ không phụ thuộc triều (tide free), dữ liệu trọng lực thuộc dữ liệu trọng lực không khí tự do (Free-air).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Theo phương pháp LSC[7], 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 (1):

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

Độ chính xác được đánh giá theo công thức (2):

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

Trong đó: $K(\cdot, \cdot)$ hàm hiệp phương sai; $C_{\Delta g}$ ma trận hiệp phương sai sai số đo; Δg giá trị dị thường trọng lực.

Nội dung quan trọng của phương pháp là xác định được hàm hiệp phương sai $K(\cdot, \cdot)$. Dựa trên số liệu dị thường trọng lực, tiến hành xác định hàm hiệp phương sai thực nghiệm, sau đó từ các giá trị thực nghiệm nhận được sẽ được xấp xỉ với hàm lý thuyết để tìm ra giá trị xác suất nhất.

* Xác định các giá trị của hàm hiệp phương sai thực nghiệm

Theo[6], hàm hiệp phương sai thực nghiệm giữa hai đại lượng đo y và y' được xác định theo công thức:

$$C(\psi) = \frac{1}{A} \int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} y \cdot y' \cdot d\alpha \cdot \psi \cdot d\varphi \cdot d\lambda \quad (3)$$

trong đó: khoảng cách cầu ψ giữa hai thành phần y và y' được xác định: $\psi = \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1)$; A là diện tích vùng tính theo đơn vị cầu; α là góc phương vị.

Vì các đại lượng đo là các điểm rời rạc trong khu vực. Do vậy, nếu mỗi đại lượng y_i đại diện cho một khu vực nhỏ A_i và y_j' đại diện cho một khu vực A_j thì công thức tích phân (3) được chuyển thành công thức tổng:

$$C_k = \frac{\sum A_i A_j y_i y_j'}{\sum A_i A_j} \quad (4)$$

với ψ_{ij} là khoảng cách cầu giữa hai đại lượng i và j , thỏa mãn điều kiện:

$$\psi - \frac{\Delta\psi}{2} < \psi_{ij} < \psi + \frac{\Delta\psi}{2} \quad (5)$$

Trong tính toán để đơn giản, coi A_i, A_j được giả thiết bằng nhau, khi đó công thức (5) được rút gọn thành:

$$C_k = \frac{\sum_{i,j}^{N_k} y_i y_j'}{N_k} \quad (6)$$

trong đó N_k là tổng số đại lượng và tổng $\sum y_i y_j'$ thỏa mãn điều kiện (5).

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

Theo [3] hàm hiệp phương sai lý thuyết được làm khớp với các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm theo công thức:

$$\sum_{i=2}^N \hat{\sigma}_i \left(\frac{R_B^2}{r_P r_Q} \right)^{i+2} P_i(\cos\psi_{PQ}) + \sum_{i=N+1}^{N_{MAX}} \frac{A(i-1)}{(i-2)(i+24)} \left(\frac{R_B^2}{r_P r_Q} \right)^{i+2} P_i(\cos\psi_{PQ}) = cov(P, Q) \quad (7)$$

Trong công thức (7), $cov(P, Q)$ là các giá trị của hàm hiệp phương sai thực nghiệm tương ứng giữa hai điểm P và Q; $P_i(\cos\psi_{PQ})$ là hàm đa thức Legendre ở mức i ; ψ_{PQ} là khoảng cách cầu giữa hai điểm P và Q; N_{max} là mức và hạng tối đa của mô hình trọng trường trái đất được sử dụng; r_P và r_Q là bán kính từ tâm trái đất đến điểm P và điểm Q; $\hat{\sigma}_i$ là sai số phương sai mức tương ứng của mô hình trọng trường.

Các ẩn cần phải xác định trong công thức (7) là: N là hệ số mức mở rộng của mô hình trọng trường trái đất được sử dụng; A là tham số tự do có đơn vị $(10\mu\text{ms}^{-2})^2$; R_B bán kính cầu Bjerhammar (điều kiện $R_B < R_E$). Vì các phương sai mức sai số của mô hình trọng trường trái đất phản ánh trên toàn cầu, trong các tính toán với một khu vực hoặc phạm vi cục bộ, cần phải nhân các phương sai mức sai số với hệ số tỷ lệ f . Hệ số tỷ lệ này phải được xác định thông qua quá trình tính lặp. Như vậy, các ẩn số (tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết cần tìm) là: N, A, f , $R_B - R_E$ (thay cho R_B), trong đó R_E là bán kính trung bình của trái đất.

Mỗi giá trị hiệp phương sai thực nghiệm tính được, ta lập được một phương trình dạng (1). Như vậy, ta sẽ có hệ k phương trình tương ứng với k giá trị thực nghiệm. Chọn một giá trị của N, giải hệ phương trình trên sẽ tìm được các tham số còn lại. Tham số f được xác định bằng việc giải lặp hệ phương trình với số lần nhất định (thường chọn số lần

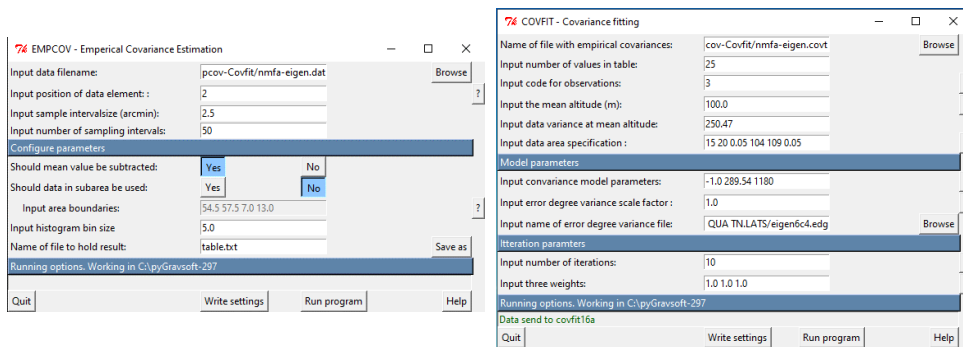
HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA VỀ CÔNG NGHỆ ĐỊA KHÔNG GIAN TRONG KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ MÔI TRƯỜNG

lập = 10). Thay đổi N , quá trình giải lại được lặp lại. Không phải N nào cũng tìm được các tham số A, f, R_B-R_E . Có những giá trị của N làm cho hệ phương trình suy biến.

3. Kết quả nghiên cứu

Thực hiện chương trình xác định các giá trị của hàm hiệp phương sai thực nghiệm “EMPCOV” trên Python (Hình 2.a) đối với các điểm dị thường trọng lực còn dư, tổng số điểm tính là: 10872 điểm; mất lưới trung bình 2,5 phút; việc tính toán được hiệu chỉnh trị trung bình cộng. Kết quả tính hiệp phương sai thực nghiệm được thể hiện trong cột 2 của Bảng 1.

Bước tiếp theo sử dụng chương trình “COVFIT” để xác định các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết (Hình 2.b) bằng cách thử dần giá trị N từ 2 đến 2190. Với mỗi kết quả tìm được cần phải lưu ra file riêng, đây là bước tính mất rất nhiều thời gian, dễ nhầm lẫn do số lượng tính là nhiều, nên cần phải thật cẩn thận khi thực hiện. Kết quả thực hiện đã tìm được 163 bộ tham số.



(a)

(b)

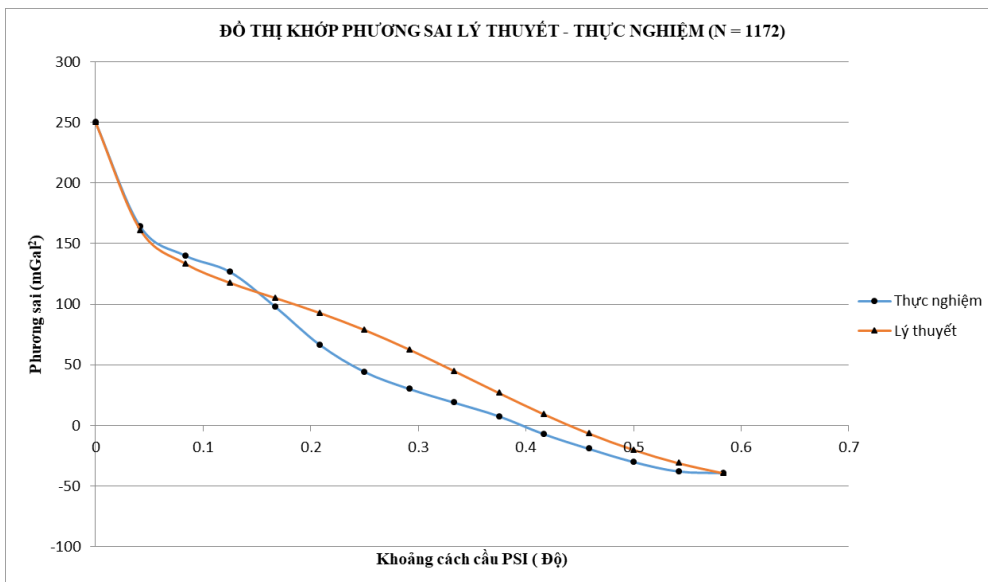
Hình 2. Chương trình EMPCOV và COVFIT trong bộ

Ứng với mỗi bộ dữ liệu tìm được, thay vào công thức (1), ta sẽ xác định được các giá trị dị thường độ cao từ tập các điểm dị thường trọng lực tương ứng. Tuy nhiên, với mỗi bộ số liệu khác nhau, khi tính toán trên chương trình “GEOCOL” trong bộ phần mềm GRAVSOFT sẽ cho kết quả khác nhau. Thậm chí đối với bộ số liệu kém, được phản ánh qua sai số độ lệch trung phương có giá trị lớn, chương trình tính không thực hiện được. Dựa trên các điểm song trùng GNSS/TC được sử dụng trong đánh giá kết quả tính, cùng kinh nghiệm tính toán, nhóm tác giả nhận thấy đối với các bộ tham số có sai số độ lệch trung phương càng nhỏ thì kết quả tính chênh lệch nhau càng ít. Như vậy, sai số độ lệch trung phương chính là cơ sở để lựa chọn được bộ tham số tốt nhất từ các bộ tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết tìm được. Sai số độ lệch trung phương là cơ sở đánh giá các kết quả đo đạc trong lĩnh vực trắc địa, đối với phương pháp LSC cũng chính là đánh giá độ

lệch giữa hai mô hình: mô hình hàm hiệp phương sai lý thuyết xác định được và mô hình hàm hiệp phương sai thực nghiệm, hai mô hình càng khớp nhau thì sai số độ lệch trung phương càng nhỏ.

Bảng 1. Kết quả xác định hiệp phương sai lý thuyết

K/c cầu	Hiệp phương sai (mGal)		
	Thực nghiệm	Lý thuyết	Chênh lệch
0.0000	250.4672	250.3633	0.1039
0.0417	164.1513	161.4147	2.7366
0.0833	140.1696	133.5859	6.5836
0.1250	126.7056	117.6541	9.0514
0.1667	98.3397	105.2837	-6.9440
0.2083	66.8128	92.9440	-26.1313
0.2500	44.3538	78.8906	-34.5368
0.2917	30.2622	62.7539	-32.4916
0.3333	19.0282	45.1166	-26.0884
0.3750	7.7506	26.9574	-19.2068
0.4167	-6.9063	9.4907	-16.3969
0.4583	-18.9581	-6.2815	-12.6766
0.5000	-29.8726	-19.8172	-10.0554
0.5417	-37.6278	-30.7799	-6.8479
0.5833	-39.0809	-39.0597	-0.0212



Hình 3. Độ chênh lệch giữa hàm hiệp phương sai lý thuyết và hiệp phương sai thực nghiệm

HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA VỀ CÔNG NGHỆ ĐỊA KHÔNG GIAN

TRONG KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ MÔI TRƯỜNG

Từ đánh giá trên, nhóm tác giả thực hiện lọc thủ công trong 163 bộ tìm được để xác định được bộ tham số tối ưu nhất dựa trên tiêu chí sai số độ lệch trung phương (RMS) giữa kết quả lý thuyết và thực nghiệm là nhỏ nhất. Bộ tham số tối ưu nhất là: $N = 1172$; $f = 28,04$; $A = 0,18 \cdot 10^6$; Phương sai = $289,18 \text{ mGal}^2$; $R_B - R_E = -0,075 \text{ km}$; Sai số trung phương $RMS = 17,72 \text{ mGal}^2$. Các giá trị hiệp phương sai lý thuyết tương ứng với bộ tham số tối ưu và giá trị hàm hiệp phương sai thực nghiệm được thể hiện trên cột (3) và (2), chênh lệch giữa hai giá trị được thể hiện trong cột (4) (Bảng 1). Đồ thị biểu diễn độ chênh lệch giữa hàm lý thuyết và hàm thực nghiệm thể hiện trong Hình 3.

4. Kết luận

Xác định hàm hiệp phương sai thực nghiệm và hàm hiệp phương sai lý thuyết là nhiệm vụ quan trọng trong phương pháp LSC khi tính chuyển dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực. Nội dung bài báo đã trình bày chi tiết cơ sở lý thuyết xác định hàm hiệp phương sai thực nghiệm và lý thuyết.

Dựa trên cơ sở lý thuyết, nhóm tác giả đã sử dụng hai modul “EMPCOV” và “COVFIT” trong gói GRAVSOFIT để tìm được bộ tham số tối ưu của hàm hiệp phương sai lý thuyết ($N = 1172$; $f = 28,04$; $A = 0,18 \cdot 10^6$; Phương sai = $289,18 \text{ mGal}^2$; $R_B - R_E = -0,075 \text{ km}$) cho dữ liệu thử nghiệm thuộc khu vực miền Trung Việt Nam.

Khi sử dụng các mô hình trọng trường trái đất có bậc và hạng đến 2190 thì việc tính toán bằng “EMPCOV” và “COVFIT” tương đối phức tạp, mất nhiều thời gian, đòi hỏi người dùng phải có kiến thức chuyên sâu và nhiều kinh nghiệm. Vấn đề này cần được nghiên cứu nhằm cải tiến chương trình “COVFIT” để việc tìm được bộ tham số tối ưu trở nên thuận lợi dễ dàng hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Văn Sáng và các cộng sự (2020), "*Marine gravity anomaly mapping for the Gulf of Tonkin area (Vietnam) using Cryosat-2 and Saral/AltiKa satellite altimetry data*", Advances in Space Research. 66(3), pp. 505-519.
2. O Andersen and P Knudsen (2019), "*The DTU17 global marine gravity field: First validation results*", Fiducial Reference Measurements for Altimetry, Springer, pp. 83-87.
3. D Arabelos and CC Tscherning (2003), "*Globally covering a-priori regional gravity covariance models*", Advances in Geosciences. 1, pp. 143-147.
4. R Forsberg and C.C Tscherning (2008), "*An overview manual for the GRAVSOFIT geodetic gravity field modelling programs*", Contract report for JUPEM.
5. ICGEM, *Global Gravity Field Models*, trang web http://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime.

6. Per Knudsen (1987), "*Estimation and modelling of the local empirical covariance function using gravity and satellite altimeter data*", Bulletin géodésique. 61(2), pp. 145-160.
7. Yu. M. Neuman (2010), *Phương pháp hiệp phương sai trong trắc địa vật lý và Collocation*, NXB Khoa học thế giới (tiếng Nga), Matxcova.
8. Sabah Ramouz and et al (2019), "*IRG2018: A regional geoid model in Iran using Least Squares Collocation*", Stud. Geophys. Geod.
9. Małgorzata Szelachowska and Jan Kryński (2014), "*GDQM-PL13—the new gravimetric quasigeoid model for Poland*", Geoinformation Issues. 6(1), pp. 5-19.

ABSTRACT

Determination of covariance functions in computing
height anomalies from gravity anomalies

Nguyen Thanh Le¹, Nguyen Van Sang², Le Thi Thanh Tam²

¹ *Le Quy Don Technical University;* ² *Hanoi University of Mining and Geology,*

E-mail: nguyenthanhle@lqdtu.edu.vn

This paper presents a method to determine the values of the empirical covariance function, and the parameters of the theoretical covariance function in computing the height anomalies from the gravity anomalies data using the LSC method. The theoretical basis of the method had been studied in detail. On the theoretical basis, the authors have determined the empirical covariance functions and the parameters of the theoretical covariance functions for experimental data in the central region of Vietnam by the EMPCOV and COVFIT programs in package GRAVSOFT. From the parameters found, we have determined the optimal parameters of the theoretical covariance function ($N = 1172$; $f = 28,04$; $A = 0,18 \cdot 10^6$; $Varg = 289,18 \text{ mGal}^2$; $R_B - R_E = -0,075 \text{ km}$; $RMS = 17,72 \text{ mGal}^2$).

Keywords: Gravity anomalies, Height anomalies, Least-squares collocation, Empirical Covariance, Theoretical Covariance.