

Phát triển phương pháp bình sai mạng lưới độ cao hạng I và II quốc gia dựa trên mặt geoid cục bộ Hòn Dấu

• Hà Minh Hòa

Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ Việt Nam

(Bản thảo nhận ngày 28 tháng 06 năm 2016, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 16 tháng 08 năm 2016)

TÓM TẮT

Nội dung báo cáo khoa học này tập trung vào việc trình bày các kết quả nghiên cứu xây dựng phương pháp và lập phần mềm VNAOLG - VIGAC (Vertical Network Adjustment On Local Geoid - Vietnam Institute of Geodesy And Cartography) để bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II quốc gia dựa trên mặt geoid cục bộ Hòn Dấu. Các kết quả nghiên cứu chính bao gồm nghiên cứu phương pháp chuyển các chênh cao đo từ hệ triều trung bình về hệ triều 0; xây dựng phương pháp chuyển đổi các chênh cao đo thành các hiệu địa thế; phương pháp xác định trọng số của các hiệu địa thế của các đường độ cao hạng I, II quốc gia; phương pháp tìm kiếm các đường độ cao thô và các phương pháp hiệu chỉnh các kết quả bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II quốc gia khi có sự biến động của các trị đo (bổ sung một số độ cao mới vào mạng

lưới; phục hồi một số mốc độ cao bị mất) theo nguyên tắc: dựa trên các kết quả bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II đã có mà không cần phải bình sai lại toàn bộ mạng lưới độ cao hạng I, II quốc gia. Các kết quả thử nghiệm phần mềm VNAOLG - VIGAC để bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II khu vực miền Bắc Việt Nam bao gồm 143 mốc độ cao hạng I, II, 17 đường độ cao hạng I và 5 đường độ cao hạng II cho thấy rằng sai số trung phương đơn vị trọng số sau bình sai bằng $\pm 1.185 \text{ kGal.mm/km}$, sai số trung phương lớn nhất của giá trị bình sai của thể trọng trường đạt $\pm 0,021 \text{ kGal.m}$. Việc bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II khu vực miền Bắc Việt Nam trong hệ triều 0 dẫn đến độ lệch trong các độ cao chuẩn ở mức cực đại $\pm 7 \text{ cm}$ so với các kết quả bình sai mạng lưới trong hệ triều trung bình.

Từ khóa: Lưới cao độ, bình sai, geoid, Hòn dẫu, VNAOLG – VIGAC

1. GIỚI THIỆU

Như đã trình bày trong tài liệu [10], dựa trên điều kiện Molodensky M.S., độ cao chuẩn của điểm M nằm trên mặt vật lý Trái đất được xác định theo công thức:

$$\begin{aligned} H_M^\gamma &= \frac{1}{\gamma_M} \cdot \int_0^M g \cdot dh = \frac{C_M}{\gamma_M} \\ &= \frac{W_0 - W_M}{\gamma_M} = \frac{U_0 - U_N}{\gamma_M} \end{aligned} \quad (1)$$

Ở đây W_0 - thế trọng trường của mặt geoid cục bộ sát nhất với mặt biển trung bình nhiều năm tại trạm nghiệm triều 0 (Ở Việt Nam là trạm nghiệm triều Hòn Dấu); W_M - thế trọng trường của điểm M; U_0 - thế trọng trường chuẩn của mặt ellipsoid quy chiếu quốc gia; U_N - thế trọng trường chuẩn của điểm N tương ứng với điểm M và nằm trên mặt telluroid; dh và g - chênh cao đo và giá trị trung bình của gia tốc trọng lực của mỗi đoạn đo cao trên đường độ cao từ mặt geoid cục bộ đến điểm M; giá trị trung bình của gia tốc trọng lực chuẩn $\bar{\gamma}_M$ tương ứng với điểm M được tính theo công thức:

$$\bar{\gamma}_M = \gamma_0 + \frac{\partial \gamma}{\partial n} \cdot \frac{H_M^\gamma}{2}, \quad (2)$$

γ_0 - giá trị gia tốc trọng lực chuẩn trên mặt ellipsoid được xác định theo công thức:

$$\gamma_0 = \gamma_e \cdot (1 + \beta \cdot \sin^2 B - \beta_1 \cdot \sin^2 2B), \quad (3)$$

còn $\frac{\partial \gamma}{\partial n} = -0.3086 \text{ mGal/m}$ - gradient

gia tốc trọng lực chuẩn; γ_e - gia tốc trọng lực chuẩn trên xích đạo của ellipsoid; các hệ số β , β_1 được xác định theo các tham số của ellipsoid; B - vĩ độ trắc địa của điểm M.

Ở Việt Nam, mặt quasigeoid cục bộ trùng với mặt geoid cục bộ Hòn Dấu tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu là mặt khởi tính cho hệ độ cao Hải Phòng 1972 ở Việt Nam. Hệ độ cao quốc gia ở Việt Nam là hệ độ cao chuẩn. Thuật ngữ “Bình sai mạng lưới độ cao quốc gia dựa trên mặt geoid cục bộ Hòn Dấu” cần được hiểu là nhờ xác định được thế trọng trường W_0 của mặt geoid cục bộ Hòn Dấu, thông qua quan hệ (1) chúng ta có thể chuyển các chênh cao đo thành các hiệu địa thế và thông qua quá trình bình sai theo các hiệu địa thế xác định được các trị bình sai của các thế trọng trường của các mốc độ cao quốc gia. Độ cao chuẩn của các điểm độ cao

quốc gia được xác định từ các thế trọng trường được bình sai của chúng.

Các nước Châu Âu đã sử dụng các mô hình Địa hình động lực trung bình (MDT), mô hình Mặt biển trung bình (MSS) và kết quả đo GPS trên trạm nghiệm triều 0, ví dụ các nước Liên hiệp Châu Âu (EU) đã xác định được thế trọng trường $W_0 = 62636851,83 \pm 0,71 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ của mặt geoid cục bộ tại Normaal Amsterdams Peil (NAP) làm khởi tính cho khung quy chiếu độ cao Châu Âu EVRF2007 [13, 14, 16] với sự tham gia của 24 nước. Các trị đo được tham gia là các hiệu địa thế giữa các mốc độ cao.

. Ở Việt Nam, từ đề xuất phương trình tương quan giữa độ cao chuẩn toàn cầu và độ cao chuẩn cục bộ và phương trình tương quan giữa dị thường độ cao toàn cầu và dị thường độ cao cục bộ trong tài liệu [6], dựa trên các giá trị độ cao chuẩn, độ cao trắc địa (được xác định bằng công nghệ GNSS độ chính xác cao) và dị thường độ cao toàn cầu (được xác định từ mô hình EGM2008) đã xác định được thế trọng trường $W_0 = 62636847,2911 \pm 0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ của mặt geoid cục bộ sát nhất với mặt biển trung bình nhiều năm tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu (xem các tài liệu [7, 9, 10, 11]).

Việc xác định được thế trọng trường của mặt geoid cục bộ tại trạm nghiệm triều 0 mở ra nhiều phương hướng hiện đại trong lĩnh vực Trắc địa vật lý. Như đã trình bày trong tài liệu [11], hàng loạt bài toán hiện đại được giải quyết như liên kết các hệ độ cao của các nước khác nhau, chuyển đổi mô hình Địa hình động lực trung bình MDT quốc tế về hệ độ cao quốc gia để xây dựng nền thông tin địa lý trên biển, xây dựng mô hình quasigeoid quốc gia độ chính xác cao và bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II dựa trên mặt geoid. Do mặt quasigeoid quốc gia trùng với mặt geoid cục bộ trên biển nên việc bình sai mạng lưới hạng I, II quốc gia dựa trên mặt quasigeoid quốc gia sẽ cho phép xác định được thế trọng trường của các mốc độ cao hạng

I, II quốc gia. Điều này cho phép đơn giản giải quyết bài toán chuyển độ cao giữa các hệ độ cao. Ngoài ra, mốc độ cao hạng I, II quốc gia, các giá trị độ cao trắc địa độ chính xác cao được xác định bằng công nghệ GPS kết hợp với các giá trị thể trọng trường các mốc này cho phép xác định được các giá trị thể nhiều tạo nên nguồn dữ liệu quan trọng cùng với các dữ liệu trọng lực chi tiết được sử dụng để hiệu chỉnh các hệ số khai triển điều hòa của mô hình EGM cho phù hợp với trọng trường trên lãnh thổ quốc gia.

Do ở Việt Nam đã xác định được thể trọng trường của mặt geoid cục bộ Hòn Dấu, nên trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường giai đoạn 2013 - 2015 “Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp xử lý toán học mạng lưới độ cao hạng I, II quốc gia trong hệ độ cao hiện đại” do tác giả báo cáo khoa học này làm chủ nhiệm đã đặt ra các nhiệm vụ nghiên cứu phương pháp bình sai độ cao hạng I, II quốc gia dựa trên mặt quasigeoid quốc gia được xác định từ mặt geoid cục bộ Hòn Dấu. Các kết quả thực hiện các nhiệm vụ nêu trên sẽ được trình bày trong báo cáo khoa học này.

2. XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP BÌNH SAI MẠNG LƯỚI ĐỘ CAO HẠNG I, II QUỐC GIA DỰA TRÊN MẶT GEOID CỤC BỘ HÒN DẤU

Dưới sức hút của Mặt trăng và Mặt trời, mặt vật lý Trái đất bị biến dạng triều bởi các sóng triều theo chu kỳ và sóng vùng. Do đó, theo Nghị quyết 16 của Hội Trắc địa quốc tế IAG tại Hamburg (CHLB Đức) vào năm 1983 (*International Association of Geodesy (IAG)*), các trị đo đạc và các đại lượng trắc địa phải được tính toán trong hệ triều 0 tương ứng với bề mặt Trái đất bị biến dạng bổ sung. Như vậy, chúng ta phải loại bỏ ảnh hưởng của sóng vùng đến các chênh cao đo và độ cao chuẩn, tức

chuyển các giá trị này từ hệ triều trung bình về hệ triều 0. Tuy nhiên, do thể trọng trường của mốc độ cao không thay đổi trong các hệ triều trung bình và hệ triều 0, nên khi bình sai mạng lưới độ cao quốc gia theo các trị đo là các hiệu địa thể không nảy sinh bài toán chuyển các hiệu địa thể từ hệ triều trung bình về hệ triều 0.

Hiệu địa thể dC_{ij} của đoạn độ cao ij quan hệ với các thể trọng trường W_i, W_j của các mốc độ cao i, j theo công thức:

$$dC_{ij} = W_i - W_j \quad (4)$$

Bài toán chuyển chênh cao đo thành hiệu địa thể trong trọng trường chuẩn của ellipsoid quy chiếu quốc gia đã được chứng minh trong tài liệu [11], theo đó đối với trường hợp chênh cao đo h'_{ij} của đoạn độ cao ij đã được chuyển về trọng trường chuẩn của ellipsoid quy chiếu quốc gia, hiệu địa thể dC_{ij} của đoạn độ cao này được tính toán theo công thức:

$$dC_{ij} = \bar{\gamma}_{ij} \cdot h'_{ij} + \bar{H}_{ij}^{\gamma} \cdot (\bar{\gamma}_j - \bar{\gamma}_i)$$

$$\text{Ở đây } \bar{\gamma}_{ij} = \frac{\bar{\gamma}_j + \bar{\gamma}_i}{2} - \text{giá trị trung bình}$$

của các giá trị $\bar{\gamma}_i$ và $\bar{\gamma}_j$ giữa hai mốc độ cao i

$$\text{và } j; \bar{H}_{ij}^{\gamma} = \frac{H_j^{\gamma} + H_i^{\gamma}}{2} - \text{độ cao chuẩn trung bình}$$

giữa hai mốc độ cao i và j , còn $\bar{\gamma}_i$ và $\bar{\gamma}_j$ là các giá trị trung bình của gia tốc trọng lực chuẩn của các mốc độ cao i và j được tính theo công thức (2).

Trong bài toán bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II quốc gia dựa trên mặt geoid cục bộ chúng ta nhận các đơn vị của các chênh cao đo, độ cao chuẩn là mét (m), các đơn vị của thể trọng trường W của các mốc độ cao, các hiệu địa thể dC là kGal.m. Với lý do này, các gia tốc trọng lực chuẩn được xác định theo các công thức (2) và (3) phải được chuyển về đơn vị

kGal. Đối với ellipsoid quy chiếu quốc gia WGS84, các công thức (2) và (3) có dạng:

$$\bar{\gamma} = \gamma_0 - 0.1543 \cdot 10^{-6} \cdot H^\gamma + 0.036 \cdot 10^{-12} (H^\gamma)^2 < kGal > \quad (5)$$

trong đó,

$$\gamma_0 = 0.97803253359^*$$

$$\begin{pmatrix} 1 + 0.0053023132 \cdot \sin^2 B \\ -0.00000581794875 \cdot \sin^2 2B \end{pmatrix} < kGal > \quad (6)$$

Khi sử dụng hiệu địa thế dC trong đơn vị kGal.m, trọng số của hiệu địa thế bằng chính trọng số của chênh cao đo trên đoạn thủy chuẩn.

Ở Việt Nam, đối với điểm M có độ cao chuẩn H_M^γ (đơn vị m), thể trọng trường của điểm này được xác định theo công thức:

$$W_M = 6263684.72911 - \bar{\gamma}_M \cdot H_M^\gamma < kGal.m >$$

Ở đây giá trị trung bình của gia tốc lực trọng trường chuẩn $\bar{\gamma}_M$ (đơn vị kGal) được xác định theo các công thức (5), (6).

Điểm độ cao L6 là điểm khởi tính của hệ độ cao hạng I, II quốc gia có vĩ độ $20^{\circ}47'54''$ và độ cao chuẩn bằng 0,5964 m. Khi đó thể trọng trường của điểm khởi tính của hệ độ cao hạng I, II quốc gia Việt Nam bằng 6263684,1454 kGal.m.

Nhằm đáp ứng các yêu cầu của phương pháp bình sai hiện đại bao gồm khả năng sử dụng kỹ thuật ma trận thưa, khả năng phát hiện và tìm kiếm các trị đo thô, khả năng hiệu chỉnh các kết quả bình sai mạng lưới đã có từ trước khi mạng lưới độ cao có biến động mà không phải bình sai lại toàn bộ mạng lưới này đã sử dụng các thuật toán bình sai truy hồi với phép biến đổi xoay trung bình T - thuận và T - nghịch (xem tài liệu [8]).

Các kết quả nghiên cứu ở trên được triển khai trong phần mềm bình sai mạng lưới độ cao

hạng I, II quốc gia VNAOLG - VIGAC (Vertical Network Adjustment On Local Geoid - Vietnam Institute of Geodesy And Cartography). Các kết quả thực nghiệm bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II khu vực miền Bắc Việt Nam bao gồm 143 mốc độ cao hạng I, II (106 mốc độ cao hạng I, 37 mốc độ cao hạng II), 22 đường độ cao hạng I, II (17 đường độ cao hạng I, 5 đường độ cao hạng II) đã cho sai số trung phương đơn vị trọng số sau bình sai bằng ± 1.185 kGal.mm/1km, số cải chính nghiệm cực đại bằng 0.077 kGal.m. Sai số trung phương lớn nhất của giá trị bình sai của thể trọng trường đạt $\pm 0,021$ kGal.m tại các điểm yếu nhất I(BH-TH)39, I(BH-TH)45-1, I(BH-TH)53A và I(BH-TH)58. Mạng lưới được bình sai trong hệ triều 0.

Việc so sánh các độ cao chuẩn được bình sai trong khuôn khổ đề tài này với các độ cao chuẩn của các mốc độ cao hạng I, II do Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam cung cấp, độ chênh cực đại của các độ cao chuẩn được so sánh nằm ở mức ± 7 cm.

3. KẾT LUẬN

Phương pháp bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II quốc gia là xu hướng hiện đại trong lý thuyết hiệu chỉnh toán học các mạng lưới trắc địa nhằm hoàn thiện phương pháp bình sai truyền thống khi tính đến các thành tựu hiện đại của việc xác định thể trọng trường của mặt geoid cục bộ sát nhất với mặt biển trung bình tại trạm nghiệm triều 0 và các ứng dụng của các giá trị thể trọng trường của các mốc độ cao hạng I, II quốc gia trong việc giải quyết hàng loạt bài toán hiện đại của Trắc địa vật lý như liên kết các hệ độ cao của các nước khác nhau, xây dựng mô hình quasigeoid quốc gia độ chính xác cao và kết hợp với công nghệ GNSS để xác định các giá trị của các thể nhiễu trên các mốc độ cao hạng I, II quốc gia phục vụ việc giải quyết bài toán hiệu chỉnh các hệ số khai triển điều hòa của

mô hình EGM cho phù hợp với trọng trường trên lãnh thổ quốc gia.

Phương pháp bình sai mạng lưới độ cao hạng I, II được trình bày trong báo cáo khoa học này đáp ứng đầy đủ các yêu cầu quốc tế hiện đại trong việc bình sai các mạng lưới trắc địa quốc gia gắn kết với việc ứng dụng hệ thống thông tin trắc địa quốc gia.

Tiếp theo các nước EU, các kết quả bình sai thử nghiệm mạng lưới độ cao hạng I, II khu vực miền Bắc Việt Nam dựa trên mặt geoid cục bộ Hòn Dấu là các kết quả đầu tiên được công bố ở Châu Á theo phương pháp bình sai mạng lưới quốc gia dựa trên mặt geoid cục bộ.

Development of method for adjusting the national I and II orders vertical network based on the local geoid Hon Dau

• **Ha Minh Hoa**

Institute of Geodesy and Cartography, Vietnam

ABSTRACT

The paper concentrates on researching results in building of method and software VNAOLG-VIGAC (Vertical Network Adjustment On Local Geoid - Vietnam Institute of Geodesy And Cartography) for adjustment of national first, second orders vertical network based on local geoid Hon Dau. Main results consist of researching method for conversion of a measured geometric height differences from mean tide system to zero tide system; construction of method of transformation of the measured geometric height differences into a geopotential differences; method of calculation of weights of the geopotential differences on first, second orders levelling lines; method of detection of outlier levelling lines and methods of correction of results of the national first, second orders vertical network adjustment on case of change of observables (adding of some

new levelling lines, restoring of some lost benchmarks) by principle: Based on present results of the national first, second orders vertical network adjustment without readjustment of the whole network. The experiment results of software VNAOLG-VIGAC for the national first, second orders vertical network adjustment on the Vietnam Northern region with 143 first, second orders benchmarks, 17 first order levelling lines, 5 second order levelling lines showed that RMS unit weight is equal to ± 1.185 kGal.mm/1km, maximal RMS of adjusted geopotential reaches $\pm 0,021$ kGal.m. Adjustment of the national first, second orders vertical network adjustment on the Vietnam Northern region in zero tide system leads to maximal offset of normal heights at level of ± 7 cm in comparison with those of in mean tide system.

Keywords: vertical network, adjustment, geoid, Hon Dau, VNAOLG-VIGAC.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam, *Thiết kế kỹ thuật - dự toán bình sai tổng thể lưới độ cao nhà nước hạng 1,2*. Báo cáo Tổng kết kỹ thuật, Hà Nội, 2008.
- [2]. Bursa M., *Report of special Commission SC3, Fundamental Constants*, Travaux de L'Association Internationale de Geodesie, Reports Generaux et Rapports Rechnique, IAG, 140 rue de Grenelle, 75700 Paris, 1995.
- [3]. Bursa M., Kenyon S., Kouba J., Muller A., Radej K., Vatr V., Vojtiskova M., Vitek V., *Long - Term Stability of Geoidal Geopotential from TOPEX/POSEIDON Satellite Altimetry 1993 – 1999*, Earth, Moon and Planets, 84 (3), 163-176, 1999.
- [4]. Bursa M., Kenyon S., Kouba J., Sima Z., Vatr V., Vitek V., Vojtiskova M., *The geopotential value W_0 for specifying the relativistic atomic time scale and a global vertical reference system*. Journal of Geodesy, 81 (2), 103-110, 2007.
- [5]. Dennis D. McCarthy, Gerard Petit. *IERS Conventions (2003)*. IERS Technical Note No 32. Frankfurt am Main, 2004.
- [6]. Hà Minh Hòa. *Giải quyết một số vấn đề liên quan đến việc chuyển hệ độ cao được xác định từ mặt nước biển trung bình ở trạm thủy triều về mặt Quasigeoid toàn cầu*. Tạp chí Địa chính số 2, 3 – 11, 2007.
- [7]. Hà Minh Hòa, *Nghiên cứu xác định thế năng trọng trường thực W_0 của mặt Geoid cục bộ trùng với mặt biển trung bình tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu*. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học và Công nghệ “Trắc địa và Bản đồ vì sự nghiệp tài nguyên và Môi trường”. Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ - Hội Trắc địa, Bản đồ và Viễn thám Việt Nam, Hà Nội, 6-19, 2012.
- [8]. Hà Minh Hòa. *Phương pháp bình sai truy hồi với phép biến đổi xoay*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2013.
- [9]. Hà Minh Hòa, *Estimating the geopotential value W_0 of the local geoid based on data from local and global normal heights of GPS/Leveling points in Vietnam*. Geodesy and Cartography. Taylor & Francis. UDK 528.21, 39 (3), 99-105, 2013.
- [10]. Hà Minh Hòa. *Phương pháp xử lý toán học các mạng lưới trắc địa quốc gia*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2014.
- [11]. Hà Minh Hòa. *Lý thuyết và thực tiễn của Trọng lực trắc địa*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2014.
- [12]. International Association of Geodesy (IAG). *IAG Resolutions adopted at the XVIII General Assembly of the IUGG in Hamburg*, Bulletin Geodetique - The Geodesist's handbook, 58 (3), p. 321, 1984.
- [13]. Ihde J., *Status of the European Vertical Reference System (EVRS)*. EVRS Workshop, Frankfurt Main April 5-7, 2004.
- [14]. Makinen J., *The treatment of permanent tide in EUREF products*. The Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF) in Brussels, June 17 - 21, 2008.
- [15]. Petit G., Luzum B., *IERS Conventions (2010)*, IERS Technical Note No. 36, Frankfurt am Main, p. 179, 2010.
- [16]. Sacher M., Ihde J., Liebsch G., Makinen J. *EVRF2007 as Realization of the European Vertical Reference System*. EUREF Symposium, Brussels, June 17 - 21, 2008.