

XÂY DỰNG HỆ ĐỘ CAO DỰA TRÊN MẶT GEOID GẮN KẾT VỚI VIỆC XÂY DỰNG HỆ TỌA ĐỘ ĐỘNG LỰC QUỐC GIA

PGS. TSKH. HÀ MINH HÒA
Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

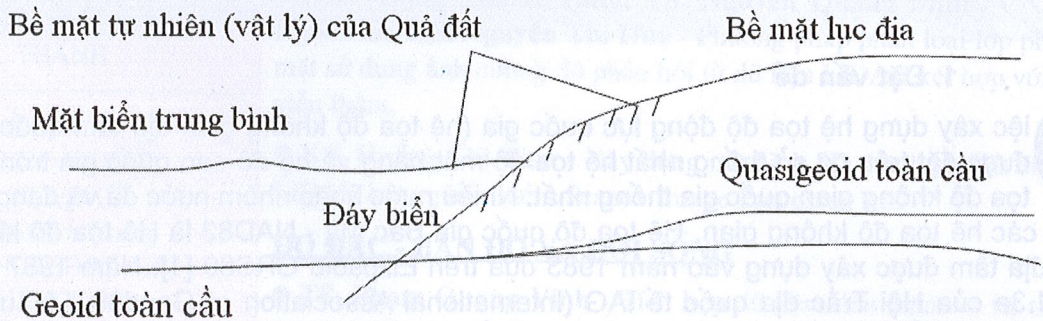
Tóm tắt:

Bài báo khoa học này đã xác định yêu cầu độ chính xác của các tọa độ Ellipsoid B,L,H trong hệ tọa độ động lực quốc gia, xác định các mối quan hệ giữa việc xây dựng Hệ độ cao quốc gia dựa trên mặt Geoid và xây dựng mô hình Quasigeoid độ chính xác cao, và giữa việc xây dựng mô hình Quasigeoid độ chính xác cao và xây dựng hệ tọa độ động lực quốc gia. Từ đây đã xác định được 5 nhóm bài toán khoa học - kỹ thuật phải giải quyết đồng thời nhằm xây dựng Hệ độ cao dựa trên mặt Geoid gắn kết với việc xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia.

1. Đặt vấn đề

Việc xây dựng hệ tọa độ động lực quốc gia (hệ tọa độ không gian địa tâm quốc gia) được đặt trên cơ sở thống nhất hệ tọa độ mặt bằng và hệ độ cao quốc gia trong hệ tọa độ không gian quốc gia thống nhất. Nhiều nước hoặc nhóm nước đã và đang xây dựng các hệ tọa độ không gian. Hệ tọa độ quốc gia Bắc Mỹ - NAD83 là Hệ tọa độ không gian địa tâm được xây dựng vào năm 1983 dựa trên Ellipsoid GRS80 [1]. Năm 1987 Tiểu ban 1.3a của Hội Trắc địa quốc tế IAG (International Association of Geodesy) (sau này được gọi là Tổ chức Khung quy chiếu Châu Âu - EUREF (European Reference Earth Frame) đã quyết định phát triển Hệ thống quy chiếu Quả đất Châu Âu ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) dựa trên công nghệ GPS và Ellipsoid GRS80 [2]. Vào năm 2002, các mạng lưới tam giác OSTN (Ordnance Survey Triangulation Network) của Vương quốc Anh được nối với Hệ quy chiếu Quả đất Châu Âu ETRS89. Kết quả đã xây dựng được Hệ tọa độ không gian địa tâm OS Net (Ordnance Survey Network) của nước Anh được liên kết với ETRS89. Mô hình Geoid của nước Anh có tên OSGM02 (Ordnance Survey Geoid Model 2002) có độ chính xác 2cm ở nước Anh và 4cm ở các khu vực khác [3]. Năm 1982 Australia đã tiến hành bình sai mạng lưới trắc địa quốc gia và xây dựng được Hệ tọa độ không gian địa tâm AGD84 (Australian Geodetic Datum 1984) [4]. Hệ tọa độ không gian địa tâm PND94 (Papua New Guinea's Geodetic Datum 1994) của Papua New Guinea được xây dựng cùng với Hệ tọa độ không gian AGD94 của Australia dựa trên ITRF92 với thời điểm chuẩn 1994.0 [5]. Hiện nay, theo tài liệu [6], Canada xây dựng hệ thống quy chiếu không gian Canada (Canadian Spatial Reference System - CSRS) dựa trên NAD - 83. Hệ quy chiếu địa tâm Nam Mỹ (theo tiếng Tây Ban Nha - Sistema de Referencia Geocéntrico para las AméricaS - SIRGAS, theo tiếng Anh - South American Geocentric Reference System) là dự án của các nước Nam Mỹ, Trung Mỹ và Bắc Mỹ phối hợp với các viện khoa học quốc tế để xây dựng Khung quy chiếu địa tâm tại khu vực này [7].

Việc phát triển Hệ thống tọa độ không gian địa tâm phù hợp với yêu cầu và xu thế phát triển của kỷ nguyên ứng dụng công nghệ GNSS (Global Navigation Satellite System) trên cơ sở sử dụng các thành tựu khoa học - công nghệ mới nhất trong quá trình phát triển Khung quy chiếu Quả đất quốc tế ITRF (International Terrestrial Reference System) dựa trên công nghệ GNSS, xây dựng các mô hình trọng trường Quả đất EGM (Earth Gravitational Model) và mô hình bề mặt tự nhiên của biển (mặt biển trung bình) MDT (Mean Dynamic Topography) nhờ phương pháp đo cao từ vệ tinh (altimetry), xác định mặt Geoid toàn cầu trên các biển và đại dương nhằm xác định các tọa độ (không gian, trắc địa, mặt bằng) và độ cao chuẩn (hoặc độ sâu) của điểm cần quan tâm với độ chính xác cao trên cả đất liền và lãnh hải dựa trên công nghệ GNSS. Trong ý nghĩa khoa học chặt chẽ bài toán xây dựng Hệ thống tọa độ không gian địa tâm quốc gia đảm bảo việc gắn kết 3 bề mặt cơ bản bao gồm bề mặt tự nhiên của Quả đất (bề mặt lục địa và mặt nước biển trung bình), mặt Quasigeoid toàn cầu (trùng với mặt Geoid toàn cầu trên các biển và đại dương) và mặt Ellipsoid quy chiếu trên lãnh thổ quốc gia (xem hình 1 dưới đây).



Hình 1: Quan hệ giữa các mặt cơ bản:

Bề mặt tự nhiên của Quả đất, mặt Geoid và mặt Ellipsoid

Bài toán then chốt trong việc xây dựng hệ tọa độ không gian quốc gia là xác định mô hình Quasigeoid độ chính xác cao trên toàn bộ lãnh thổ quốc gia nhằm nhận được độ cao trắc địa $H = H^y + \zeta$ độ chính xác cao của điểm cần quan tâm, ở đây H^y - độ cao chuẩn của điểm, ζ - độ cao Quasigeoid (dị thường độ cao) của điểm. Tuy nhiên việc giải quyết bài toán này không thể tách rời với việc hoàn thiện Hệ độ cao quốc gia. Vấn đề nằm ở chỗ cả dị thường độ cao (hay độ cao Quasigeoid) lẫn độ cao chuẩn đều cùng liên hệ với một mặt chung - đó là mặt Quasigeoid. Việc xác định mặt Quasigeoid vừa đảm bảo thuận tiện cho việc xác định các độ cao chuẩn của các điểm nằm trên mặt vật lý của Quả đất (bề mặt tự nhiên của Quả đất trên đất liền và trên biển) hoặc độ sâu độ chính xác cao của các điểm nằm trên mặt địa hình đáy biển, vừa đảm bảo xác định các dị thường độ cao của các điểm nằm trên mặt vật lý của Quả đất trên phạm vi cả đất liền và lãnh hải quốc gia dựa trên các kết quả đo đạc mặt đất, các kết quả xử lý các đo đạc GNSS trong ITRF, mô hình trọng trường Quả đất EGM và bản đồ địa hình mặt nước biển trung bình MDT là bước quan trọng đầu tiên để giải quyết bài toán được đặt ra. Như đã phân tích trong tài liệu [14] mặt khởi tính cho Hệ độ cao quốc gia hiện đại dựa trên mặt Geoid hoặc là mặt Quasigeoid cục bộ (trùng với mặt Geoid cục bộ với thế năng trọng trường thực W_0 tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu,

thêm vào đó mặt Geoid cục bộ này trùng hoặc sát nhất với mặt nước biển trung bình tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu) hoặc mặt Quasigeoid toàn cầu trùng với mặt Geoid toàn cầu trên các biển và đại dương.

Bài báo khoa học này sẽ xem xét giải quyết các vấn đề liên quan đến việc xác định yêu cầu độ chính xác xác định các tọa độ không gian của các điểm thuộc mạng lưới thiên văn trắc địa hạng I, II quốc gia trong Hệ tọa độ động lực quốc gia và các vấn đề hoàn thiện hệ độ cao quốc gia gắn kết với việc xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia ở Việt Nam.

2. Giải quyết vấn đề

2.1. Xác định yêu cầu độ chính xác xác định các tọa độ trắc địa và độ cao trắc địa của các điểm trắc địa quốc gia trong Hệ tọa độ động lực quốc gia

Để đánh giá ước tính độ chính xác của các tọa độ trắc địa B, L và độ cao trắc địa của điểm thuộc mạng lưới GNSS được xử lý trong ITRF, chúng ta sử dụng điều kiện:

$$m_x = m_y = m_z = \frac{M_{XYZ}}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

ở đây M_{XYZ} - sai số vị trí không gian của điểm được đặc trưng bởi độ chính xác của lịch vệ tinh chính xác của Tổ chức IGS và được cho trong ITRF.

Khi lưu ý điều kiện (1), các sai số trung phương của vĩ độ trắc địa và kinh độ trắc địa được đánh giá theo các công thức

$$m_B'' = \rho'' \cdot \frac{M_{XYZ}}{\sqrt{3} \cdot R}, \quad (2)$$

$$m_L'' = \rho'' \cdot \frac{M_{XYZ}}{\sqrt{3} \cdot R \cdot \cos B},$$

còn độ cao trắc địa được đánh giá theo công thức [11]:

$$m_H'' = \frac{M_{XYZ}}{\sqrt{3} \cdot \cos B}, \quad (3)$$

ở đây $\rho'' = 206265''$

Khi coi

$$N + H \approx N \cdot (1 - e^2) + H \approx R = \frac{a \cdot \sqrt{1 - e^2}}{1 - e^2 \cdot \sin^2 B} \approx a \cdot \sqrt{1 - e^2},$$

ở đây R là bán kính trung bình của Ellipsoid và đối với Ellipsoid WGS84 $a = 6378137$ m, tâm sai thứ nhất $e^2 = 0,00669437999$ chúng ta có $R = 6356752,314$ m.

Với độ chính xác Lịch vệ tinh chính xác M_{XYZ} nhận bằng 2,5cm, từ các công thức (2) và (3) chúng ta có đẳng thức

$$\frac{m_B''}{\rho'' \cdot \cos B} = \frac{m_L''}{\rho''} = \frac{m_H''}{R} = 2,5 \cdot 10^{-9}. \quad (4)$$

Điều này cũng phù hợp với yêu cầu việc đảm bảo xác định tọa độ không gian với độ chính xác tương đối ở mức 10^{-9} đối với Hệ quy chiếu không gian Quả đất Châu Âu ETRS (European Terrestrial Reference System) [20].

Như vậy khi xử lý mạng lưới GNSS trong ITRF chúng ta đạt được độ chính xác tương đối của các tọa độ trắc địa B, L và độ cao trắc địa H được đánh giá theo công thức (4) tương ứng với sai số vị trí không gian của các điểm GNSS ở mức 2,5cm là độ chính xác cao nhất của việc xác định vị trí không gian của các điểm trong ITRF và phản ánh mối quan hệ giữa các tọa độ trắc địa B, L và độ cao trắc địa H trong Hệ tọa độ không gian địa tâm Quả đất quốc tế ITRF. Các sai số tương đối của các tọa độ trắc địa B, L trong đẳng thức (4) tương ứng với sai số vị trí điểm mặt bằng ở mức 2 - 4cm và cũng tương tự với sai số vị trí điểm mặt bằng của các điểm thiên văn - trắc địa quốc gia được bình sai trong Hệ tọa độ VN2000 (2D). Như đã chứng minh trong tài liệu [13], khi trên các điểm của mạng lưới GNSS quốc gia tiến hành đo đạc và xử lý đồng thời các dữ liệu đo GPS/GLONASS trong ITRF, độ chính xác của độ cao trắc địa ở mức 1,1cm khi sử dụng lịch vệ tinh độ chính xác ở mức 2,5cm. Đây là cơ sở quan trọng để nâng cao độ chính xác độ cao trắc địa của các điểm thiên văn trắc địa trong VN2000 3D khi giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS/GLONASS vào hệ tọa độ không gian quốc gia VN2000 3D [9, 11].

Tuy nhiên, dựa theo tài liệu [8], độ chính xác của độ cao trắc địa của các điểm thiên văn trắc địa quốc gia trong hệ VN2000 (2D) nhận được từ kết quả định vị Ellipsoid không cao hơn 1m, tức sai số trung phương tương đối của độ cao trắc địa của các điểm thiên văn - trắc địa chỉ ở mức $2 \cdot 10^{-7}$ và thấp hơn rất nhiều so với độ chính xác tương đối của độ cao trắc địa trong ITRF.

Như vậy nhiệm vụ khoa học - kỹ thuật quan trọng đầu tiên của việc xây dựng Hệ tọa độ không gian địa tâm quốc gia (VN2000 3D) là xây dựng mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao dựa trên các kết quả dữ liệu xử lý mạng lưới GNSS trong ITRF, các dữ liệu thủy chuẩn quốc gia và độ cao Geoid được xác định từ mô hình trọng trường Quả đất EGM. Bản thân độ chính xác của độ cao trắc địa của điểm thiên văn - trắc địa $H = H^\gamma + \zeta$ ở đây H^γ và ζ - độ cao chuẩn và dị thường độ cao (độ cao Quasigeoid) của điểm, trong Hệ tọa độ không gian địa tâm quốc gia (VN2000 3D) phải phản ánh được độ chính xác cao của mô hình Quasigeoid quốc gia. Do đó khi đã bắt tay vào việc xây dựng mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao, chúng ta tất yếu đi đến bài toán xây dựng Hệ tọa độ không gian địa tâm quốc gia (Hệ tọa độ động lực quốc gia) với yêu cầu độ chính xác tương đối của các tọa độ trắc địa và độ cao trắc địa phải được nâng cao tiếp cận giới hạn được cho trong đẳng thức (4).

2.2. Vấn đề xác định độ cao trắc địa của các điểm trắc địa quốc gia trong VN2000 3D

Khi xây dựng và xử lý toán học mạng lưới GNSS trong ITRF, chúng ta sẽ nhận được độ cao trắc địa độ chính xác cao của các điểm GNSS tương ứng với Ellipsoid WGS84 quốc tế. Vấn đề đặt ra là làm thế nào để xác định được độ cao trắc địa độ chính xác cao của các điểm trắc địa hạng I, II quốc gia, thêm vào đó các điểm này trùng với các điểm GNSS, trong Hệ VN2000 3D tương ứng với Ellipsoid WGS84 quy chiếu (Ellipsoid WGS84 đã được định vị phù hợp với mặt Geoid trên lãnh thổ quốc gia)?.

Chúng ta sẽ chứng minh rằng việc bỏ qua độ cao trắc địa của các điểm trắc địa hạng I,

II quốc gia trùng với các điểm GNSS trong việc xác định 7 tham số chuyển tọa độ từ ITRF về VN2000 3D không cho phép nhận được độ cao trắc địa độ chính xác cao trong hệ VN2000 3D. Thật vậy, giữa các tọa độ trắc địa B_M, L_M, H_M của điểm M tương ứng với Ellipsoid quy chiếu và $\bar{B}_M, \bar{L}_M, \bar{H}_M$ - các tọa độ trắc địa của điểm M tương ứng với Ellipsoid ITRF tồn tại quan hệ theo công thức Molodenskii M.X.:

$$B_M = \bar{B}_M + \Delta\bar{B}_M, \quad (5)$$

$$L_M = \bar{L}_M + \Delta\bar{L}_M, \quad (5)$$

$$H_M = \bar{H}_M + \Delta\bar{H}_M, \quad (6)$$

ở đây

$$\begin{aligned} \Delta\bar{B}_M = & \frac{1}{(\tilde{M}_M + \tilde{H}_M)} \left[\frac{\tilde{N}_M}{\tilde{a}} \tilde{e}^2 \sin \tilde{B}_M \cos \tilde{B}_M \Delta a + \left(\frac{\tilde{N}_M^2}{\tilde{a}^2} + 1 \right) \tilde{N}_M \sin \tilde{B}_M \frac{\Delta e^2}{2} - \right. \\ & \left. - (X_0 \cos \tilde{L}_M + Y_0 \sin \tilde{L}_M) \sin \tilde{B}_M + Z_0 \cos \tilde{B}_M \right] - \\ & - \varepsilon_x \cdot \sin \tilde{L}_M \cdot (1 + \tilde{e}^2 \cos 2\tilde{B}_M) + \varepsilon_y \cdot \cos \tilde{L}_M \cdot (1 + \tilde{e}^2 \cos 2\tilde{B}_M) - \Delta m \cdot \tilde{e}^2 \sin \tilde{B}_M \cos \tilde{B}_M; \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\bar{L}_M = & \frac{1}{(\tilde{N}_M + \tilde{H}_M) \cos \tilde{B}_M} \left(-X_0 \sin \tilde{L}_M + Y_0 \cos \tilde{L}_M \right) + \operatorname{tg} \tilde{B}_M \cdot (1 - \tilde{e}^2) \times \\ & \times (\varepsilon_x \cdot \cos \tilde{L}_M + \varepsilon_y \cdot \sin \tilde{L}_M) - \varepsilon_z; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\bar{H}_M = & -\frac{\tilde{a}}{\tilde{N}_M} \Delta a + \tilde{N}_M \cdot \sin^2 \tilde{B}_M \cdot \frac{\Delta e^2}{2} + (X_0 \cos \tilde{L}_M + Y_0 \sin \tilde{L}_M) \cos \tilde{B}_M + \\ & + Z_0 \sin \tilde{B}_M - \tilde{N} \cdot \tilde{e}^2 \sin \tilde{B}_M \cos \tilde{B}_M \cdot (\varepsilon_x \cdot \sin \tilde{L}_M - \varepsilon_y \cdot \cos \tilde{L}_M) + \left(\frac{\tilde{a}^2}{\tilde{N}} + \tilde{H}_M \right) \Delta m, \quad (8) \end{aligned}$$

các đại lượng $\Delta\bar{B}_M, \Delta\bar{L}_M$ có đơn vị radian; \tilde{a} - bán trục lớn của Ellipsoid ITRF; a - bán trục lớn của Ellipsoid quy chiếu; \tilde{e}^2 - tâm sai thứ nhất của Ellipsoid ITRF; e^2 - tâm sai thứ nhất của Ellipsoid quy chiếu; B_M, L_M, H_M - các tọa độ trắc địa của điểm M trong hệ tọa độ quốc gia; $\bar{B}_M, \bar{L}_M, \bar{H}_M$ - các tọa độ trắc địa của điểm M trong ITRF;

$$\Delta a = a - \bar{a}, \quad \Delta e^2 = e^2 - \bar{e}^2; \quad \tilde{a} = \frac{a + \bar{a}}{2}; \quad \tilde{e}^2 = \frac{e^2 + \bar{e}^2}{2};$$

$$\tilde{B}_M = \frac{B_M + \bar{B}_M}{2}, \quad \tilde{L}_M = \frac{L_M + \bar{L}_M}{2}, \quad \tilde{H}_M = \frac{H_M + \bar{H}_M}{2},$$

\tilde{M}_M - Bán kính cong của mặt cắt kinh tuyến tại điểm M:

$$\tilde{M}_M = \tilde{a} \cdot (1 - \tilde{e}^2) (1 - \tilde{e}^2 \sin^2 \tilde{B}_M)^{-\frac{3}{2}},$$

\tilde{N}_M - Bán kính cong của đường thẳng đứng thứ nhất tại điểm M:

$$\tilde{N}_M = \tilde{a} \cdot (1 - \tilde{e}^2 \sin^2 \tilde{B}_M)^{-2};$$

$X_0, Y_0, Z_0, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \Delta m$ - 7 tham số chuyển tọa độ từ Hệ ITRF về Hệ VN2000 theo mô hình Bursa-Wolf, thêm vào đó các góc xoay O_L $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$ có đơn vị Radian.

Giả thiết rằng chúng ta chưa có mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao, từ tập hợp các điểm chung có các tọa độ trắc địa B, L trong Hệ VN2000 và các tọa độ trắc địa \bar{B}, \bar{L} trong ITRF chúng ta xác định 07 tham số $X_0, Y_0, Z_0, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \Delta m$ dựa trên các công thức (5) và (7). Trong trường hợp này tham số ẩn Δm xác định không tin cậy do hệ số $\tilde{e}^2 \sin \tilde{B}_M \cos \tilde{B}_M$ ở vế phải của đại lượng $\Delta \bar{B}_M$ (7) rất nhỏ. Thật vậy đối với Ellipsoid WGS84 với bán kính bán trục lớn $\tilde{a} = 6378137 \text{ m}$ và tâm sai thứ nhất $\tilde{e}^2 = 0,00669437999$ nhận vĩ độ trung bình ở Việt Nam $\tilde{B}_M = 16^\circ$, hệ số $\tilde{e}^2 \sin \tilde{B}_M \cos \tilde{B}_M$ bằng 0.001774. Với giá trị của tham số Δm ở mức $\Delta m = 1.10^{-7}$, thành phần $\Delta m \cdot \tilde{e}^2 \sin \tilde{B}_M \cos \tilde{B}_M = 0".0000364$ ở vế phải của đại lượng $\Delta \bar{B}_M$ (7) chỉ bằng $1,774 \cdot 10^{-10}$ nhỏ bỏ qua.

Trong khi đó đối với việc chuyển độ cao trắc địa từ ITRF về VN2000 3D theo công thức (6), đối với đại lượng $\Delta \bar{H}_M$ (8) thành phần $\left(\frac{\tilde{a}^2}{\tilde{N}_M} + \tilde{H}_M \right) \Delta m$ có giá trị rất đáng kể. Với số liệu nêu ở trên, khi bỏ qua độ cao trắc địa \tilde{H}_M , hệ số $\frac{\tilde{a}^2}{\tilde{N}_M} = 6361896.342 \text{ m}$ và thành phần $\frac{\tilde{a}^2}{\tilde{N}_M} \cdot \Delta m = 0.636 \text{ m}$. Như vậy nếu không sử dụng độ cao trắc địa trong VN2000 3D của các điểm trắc địa trùng, thì 7 tham số xác định được sẽ gây ra sai số trong độ cao trắc địa được chuyển từ ITRF về VN2000 3D ở mức 0,636m. Đây là điều không chấp nhận được.

Như vậy để xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia, chúng ta phải biết các giá trị gần đúng của độ cao trắc địa của các điểm thiên văn - trắc địa hạng I, II được xác định từ độ cao chuẩn và độ cao Quasigeoid của các điểm đó. Khi nói đến việc xây dựng Hệ tọa độ không gian địa tâm quốc gia (VN2000 3D), chúng ta nói đến việc xác định độ cao trắc địa của các điểm thiên văn - trắc địa trong VN2000 3D sao cho khi sử dụng mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao chúng ta sẽ xác định được độ cao chuẩn với độ chính xác ít nhất đạt tiêu chuẩn hạng IV quốc gia. Như đã chứng minh trong các tài liệu [10, 11], sai số trung phương lớn nhất $m_{H\gamma}$ của độ cao chuẩn hạng II ở mức 7,5cm, của độ cao chuẩn hạng III ở mức 9,3cm, của độ cao chuẩn hạng IV ở mức 11,7cm. Lưu ý công thức đánh giá sai số trung phương $m_{H\gamma}$ của độ cao chuẩn $H^\gamma = H - \zeta$ được xác định dựa trên độ cao trắc địa H và dị thường độ cao ζ chúng ta xác định được yêu cầu độ chính xác của độ cao trắc địa m_H trong Hệ VN2000 3D được đánh giá theo công thức $m_H = \sqrt{m_{H\gamma}^2 - m_\zeta^2}$ dựa trên các mức độ chính xác của mô hình Quasigeoid quốc gia và mức độ chính xác đạt được của độ cao chuẩn (khi đã cho mô hình Quasigeoid quốc gia và độ cao trắc địa trong Hệ VN2000 3D (xem bảng 1).

Từ bảng 1 ở trên chúng ta thấy rằng với hạng độ cao chuẩn cho trước, độ chính xác của độ cao trắc địa của các điểm thiên văn - trắc địa trong hệ VN2000 3D phụ thuộc chủ yếu vào độ chính xác của mô hình Quasigeoid quốc gia: độ chính xác của mô hình Quasigeoid quốc gia càng thấp thì yêu cầu độ chính xác của độ cao trắc địa càng phải cao, hoặc ngược

Bảng 1

m_{ζ} (m)	m_H (m)	$\frac{m_H}{R}$
Độ chính xác độ cao chuẩn hạng IV ở mức 0,117 m		
0,050	0,106	$1,7 \cdot 10^{-8}$
0,080	0,085	$1,3 \cdot 10^{-8}$
0,100	0,061	$1,0 \cdot 10^{-9}$
Độ chính xác độ cao chuẩn hạng III ở mức 0,093 m		
0,050	0,078	$1,2 \cdot 10^{-8}$
0,080	0,047	$7,4 \cdot 10^{-9}$
Độ chính xác độ cao chuẩn hạng II ở mức 0,075 m		
0,050	0,056	$8,8 \cdot 10^{-9}$

lại độ chính xác của mô hình Quasigeoid quốc gia càng cao thì yêu cầu độ chính xác của độ cao trắc địa càng phải thấp hơn.

Cách tiếp cận phổ biến để nhận được độ cao trắc địa độ chính xác cao của các điểm trắc địa cơ sở quốc gia trong VN2000 3D là kết hợp với độ cao chuẩn nhà nước hạng I, II và dị thường độ cao độ chính xác cao (được xác định từ mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao) để xác định độ cao trắc địa gần đúng của các điểm đó trong VN2000 3D. Tiếp theo giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào VN2000 3D để nâng cao độ chính xác của các độ cao trắc địa này.

Chúng ta xem xét cách tiếp cận này đối với trường hợp tồi nhất khi độ chính xác của mô hình Quasigeoid chỉ đạt ở mức 0,080m và độ chính xác của độ cao chuẩn $H^{\gamma} = H - \zeta$ được xác định từ mô hình Quasigeoid quốc gia và từ độ cao trắc địa trong Hệ VN2000 3D chỉ đạt hạng IV. Khi đó chúng ta chấp nhận sai số tương đối lớn nhất của độ cao trắc địa của các điểm thiên văn - trắc địa trong hệ VN2000 3D ở mức $1,3 \cdot 10^{-8}$, tức sai số trung phương lớn nhất của độ cao trắc địa trong VN2000 3D không được vượt quá 0,085m.

Trong phương án tối thiểu này, chúng ta sẽ xem xét bằng cách nào đạt được độ chính xác của độ cao trắc địa trong VN2000 3D nêu trên ?

Các điểm thiên văn - trắc địa trong hệ tọa độ VN2000 2D là các điểm chung, tức các điểm này được đo nối thủy chuẩn nhà nước hạng I, II và các dữ liệu đo GNSS trên các điểm này được xử lý trong ITRF. Khi đó giá trị gần đúng của độ cao cao trắc địa $H^{(0)} = H^{\gamma} + \zeta$ của các điểm chung trong VN2000 3D có độ chính xác được đánh giá theo công thức $m_H^{(0)} = \sqrt{m_{H^{\gamma}}^2 + m_{\zeta}^2}$. Khi nhận sai số trung phương của dị thường độ cao m_{ζ} từ mô hình Quasigeoid quốc gia ở mức 0,085m và khi đo nối thủy chuẩn hạng I, II vào các điểm chung, với sai số trung phương lớn nhất của độ cao chuẩn hạng I, II quốc gia được xác định trong tài liệu [10], chúng ta sẽ đánh giá được độ chính xác của giá trị gần đúng của độ cao cao trắc địa $H^{(0)}$ của các điểm chung trong VN2000 3D được cho trong bảng 2 ở dưới đây.

Bảng 2

$m_{H\gamma}$ (m)	$m_H^{(0)}$ (m)	$\frac{m_H^{(0)}}{R}$
0,065 (Hạng I)	0,103	$1.62.10^{-8}$
0,075 (Hạng II)	0,110	$1.97.10^{-8}$

Từ bảng 2 chúng ta thấy rằng với độ chính xác của mô hình Quasigeoid quốc gia ở mức 0,080m và sau khi đo nối thủy chuẩn hạng I hoặc hạng II vào điểm thiên văn - trắc địa (là điểm chung), chúng ta nhận được giá trị gần đúng của độ cao trắc địa trong VN2000 3D ở mức 0,103m (khi đo nối thủy chuẩn hạng I) và 0,110m (khi đo nối thủy chuẩn hạng II). Vậy để nâng cao độ chính xác của độ cao trắc địa trong Hệ VN2000 3D đến mức 0,085m chúng ta phải giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào Hệ VN2000 3D dựa trên các kết quả xử lý các dữ liệu đo GNSS trong ITRF. Mục đích của việc giải quyết bài toán này là nâng cao độ chính xác của các tọa độ trắc địa và độ cao trắc địa của các điểm thiên văn - trắc địa trong VN2000 3D. Mô hình toán học của bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào Hệ VN2000 3D được biểu diễn dưới dạng sau [9, 11]:

$$\bar{V}_t = d\tau_1^{k \times 1}, \quad \bar{P}_t = \mu_s^2 \cdot K_t^{-1}$$

$$\bar{V}_s^{K \times 1} = d\tau^{K \times 1} - G_s \cdot \Delta W + L_s, \quad \bar{P}_s = R_s^e,$$

ở đây R_s^e - ma trận chuẩn nhận được khi bình sai mạng lưới GNSS trong ITRF, K_t - ma trận tương quan của các tọa độ Ellipsoid B,L,H của các điểm chung trong VN2000 3D, vectơ số hạng tự do

$$L_s = \begin{pmatrix} t - \tau_1 \\ \dots\dots\dots \\ 0 \end{pmatrix},$$

t - vectơ các tọa độ Ellipsoid của các điểm GNSS bậc $k \times 1$, ở đây $k = 3.N$, còn N là tổng số điểm GNSS được bình sai trong ITRF, thêm vào đó các tọa độ Ellipsoid địa B,L,H của các điểm tương ứng với các điểm chung được sắp xếp ở các vị trí đầu tiên và các tọa độ này đã được chuyển về VN2000 3D theo các giá trị gần đúng của 7 tham số của mô hình Bursa-Wolf; τ_1 - vectơ các tọa độ Ellipsoid B,L,H của các điểm chung bậc $k_1 \times 1$ trong VN2000 3D, ở đây $k_1 = 3.N_1$, còn N_1 là tổng số các điểm chung; ma trận G_s có dạng

$$G_s = [G_1 \quad G_2 \quad \dots \quad G_N]$$

thêm vào đó khối G_i ($i = \overline{1, N}$) có dạng:

$$G_i = \begin{bmatrix} \frac{\sin B_i \cdot \cos L_i}{M_i + H_i} & \frac{\sin B_i \cdot \sin L_i}{M_i + H_i} & \frac{\cos B_i}{M_i + H_i} \\ -\sec B_i \cdot \sin L_i & \sec B_i \cdot \cos L_i & 0 \\ \frac{N_i + H_i}{\cos B_i \cdot \cos L_i} & \frac{N_i + H_i}{\cos B_i \cdot \sin L_i} & \sin B_i \end{bmatrix}$$

còn vectơ $\Delta W = [\delta_{X_0} \ \delta_{Y_0} \ \delta_{Z_0}]^T$ - vectơ các sai số hệ thống còn lại trong các tọa độ Ellipsoid được gây ra do các sai số trong 7 tham số chuyển đổi tọa độ của mô hình Bursa - Wolf.

Việc giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào Hệ VN2000 3D sẽ nâng cao độ chính xác của các tọa độ Ellipsoid của các điểm chung trong hệ VN2000 3D lên mức $\sqrt{2}$ lần. Từ bảng 2 chúng ta thấy rằng khi đo nối thủy chuẩn hạng I vào điểm thiên văn - trắc địa, giá trị gần đúng của độ cao trắc địa gần đúng ở mức 0,103m, còn khi đo nối thủy chuẩn hạng II vào điểm thiên văn - trắc địa, giá trị gần đúng của độ cao trắc địa gần đúng ở mức 0,110m, sau khi bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào VN2000 3D, độ chính xác của các độ cao trắc địa của các điểm chung sẽ được nâng lên $\frac{0,103 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0,073 \text{ m}$ với sai số tương đối $\frac{m_H}{R} = 1.15.10^{-8}$ và $\frac{0,110 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0,078 \text{ m}$ với sai số tương đối $\frac{m_H}{R} = 1.22.10^{-8}$. Như vậy yêu cầu xác định độ chính xác xác định độ cao trắc địa trong VN2000 3D ở mức 0,085m hoàn toàn đạt được. Đến đây chúng ta có thể kết luận rằng: Để nâng cao độ chính xác độ cao trắc địa của các điểm trắc địa cơ sở quốc gia trong VN2000 3D, ngoài việc xây dựng mô hình Quasigeoid độ chính xác cao, chúng ta còn phải giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào Hệ tọa độ không gian quốc gia VN2000 3D.

Đối với N - N₁ điểm của mạng lưới GNSS là các điểm mới được xây dựng bổ sung và nằm ở một số khu vực khác nhau và trên các đảo, sau khi giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào Hệ VN2000 3D chúng ta sẽ nhận được tọa độ Ellipsoid của chúng trong VN2000 3D. Ngoài ra 7 tham số chuyển đổi tọa độ theo mô hình Bursa - Wolf chỉ được xác định chính xác sau khi giải quyết xong bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào Hệ VN2000 3D.

2.3. Các vấn đề gắn kết việc hoàn thiện Hệ độ cao quốc gia với việc xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia

Trong tài liệu [14] đã chỉ ra hàng loạt các nhược điểm của Hệ độ cao được xây dựng dựa trên mặt biển trung bình tại một trạm nghiệm triều 0 (Hòn Dấu) như Hệ độ cao HP72 của Việt Nam và xu hướng xây dựng Hệ độ cao chuẩn dựa trên mặt Geoid trên thế giới hiện nay, thêm vào đó trong tài liệu [14] cũng đã chứng minh được rằng nhờ sử dụng Hệ độ cao chuẩn dựa trên mặt Geoid chúng ta sẽ nâng cao được độ chính xác của dị thường độ cao trên điểm GNSS/thủy chuẩn nhờ việc lấy trung bình dị thường độ cao GNSS/thủy chuẩn và

dị thường độ cao trọng lực. Do mặt Geoid toàn cầu chỉ có thể xác định được một cách tin cậy trên các biển và đại dương chiếm hơn 70% bề mặt Quả đất nhờ phương pháp altimetry và mặt Quasigeoid toàn cầu trùng với mặt Geoid toàn cầu trên các biển và các đại dương. Mặt Geoid toàn cầu hiện nay với thế năng trọng trường thực $\bar{W}_0 = 62636856,0 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ do Tổ chức Dịch vụ quay Quả đất quốc tế IERS (International Earth Rotation Service) xác định [15, 16] đã được sử dụng để xây dựng mô hình bề mặt tự nhiên biển DNSC08 MDT và mô hình trọng trường Quả đất EGM2008. Đây là cơ sở khoa học cơ bản của việc xác định thế năng trọng trường thực W_0 của mặt Geoid cục bộ tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu dựa trên các dữ liệu độ cao chuẩn, GNSS, mô hình bề mặt tự nhiên biển (Mean Dynamic Topography - MDT) DNSC08 MDT và mô hình trọng trường Quả đất EGM2008. Việc xây dựng Hệ độ cao quốc gia hiện đại dựa trên mặt Geoid cục bộ tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu có hai lợi ích:

- Cho phép xây dựng mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao dựa trên các dữ liệu độ cao chuẩn, GNSS và mô hình trọng trường Quả đất EGM2008;
- Không làm thay đổi cơ sở dữ liệu độ cao trong Hệ độ cao HN72 hiện đang được lưu giữ và sử dụng trong các ngành kinh tế và an ninh - quốc phòng.

Như vậy việc hoàn thiện Hệ độ cao quốc gia trên cơ sở xây dựng Hệ độ cao quốc gia hiện đại dựa trên mặt Geoid cục bộ tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu là nhằm tạo cơ sở khoa học cho việc xây dựng mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao dựa trên các dữ liệu độ cao chuẩn, GNSS và mô hình trọng trường Quả đất EGM2008. Về phần mình, mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao lại tạo ra cơ sở khoa học để xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia độ chính xác cao như đã chứng minh ở mục 2.1. Đây là lôgic của bài toán Hoàn thiện Hệ độ cao quốc gia gắn kết với việc xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia..

3. Kết luận

Việc xây dựng Hệ độ cao quốc gia dựa trên mặt Geoid là xu hướng phát triển hiện đại hiện nay. Hệ độ cao này không chỉ khắc phục các nhược điểm của Hệ độ cao dựa trên mặt nước biển trung bình (xem [14]), mà còn tạo ra cơ sở để thống nhất cơ sở dữ liệu địa hình quốc gia trên toàn bộ lãnh thổ quốc gia (cả trên đất liền, bề mặt tự nhiên biển và địa hình đáy biển) và quan trọng hơn - tại tiền đề để xây dựng mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao. Về phần mình, mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao lại là cơ sở để xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia.

Do đó khi đặt ra bài toán xây dựng Hệ tọa độ động lực quốc gia, chúng ta phải gắn kết bài toán này với việc hoàn thiện Hệ độ cao quốc gia dựa trên mặt Geoid, trong đó chúng ta phải giải quyết đồng thời 5 cụm nhiệm vụ khoa học - kỹ thuật chính bao gồm:

- Xây dựng mạng lưới GNSS được đo nối thủy chuẩn nhà nước hạng I, II phủ trùm lãnh thổ quốc gia dựa trên mạng lưới trắc địa quốc gia hạng I, II và xử lý toán học mạng lưới GNSS trong ITRF;
- Xác định thế năng trọng trường thực W_0 của mặt Geoid cục bộ tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu dựa trên các dữ liệu độ cao chuẩn, GNSS, mô hình bề mặt tự nhiên động lực trung bình MDT và mô hình trọng trường Quả đất EGM2008 trên các điểm GNSS/thủy chuẩn (bao gồm các điểm của mạng lưới GNSS và các điểm độ cao nhà nước hạng I, II được đo GNSS);

- Xử lý toán học mạng lưới độ cao quốc gia hạng I, II trong Hệ triều 0. Cùng với độ cao chuẩn bình sai xác định thế năng trọng trường thực của tất các các mốc độ cao hạng I, II;
- Xây dựng mô hình Quasigeoid quốc gia độ chính xác cao trên toàn bộ lãnh thổ quốc gia;
- Bình sai ghép nối mạng lưới GNSS vào hệ VN2000 3D.○

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Shields R. (2010). The Height Modernization Program in the United States and the Future of the National Vertical Reference Frame. FIG Congress 2010. Sydney, Australia, 11-16 April 2010.
- [2]. Ihde J., Bruyninx C. (2008). Developments of the EUREF GNSS Services and Reference Networks. ICG-03 Meeting, 8-12 December 2008, Pasadena, USA.
- [3]. Ordnance Survey. A Guide to coordinate system in Great Britain. D00659, V. 2.0, Aug. 2010.
- [4]. Stanaway R. GDA94, ITRF, WGS84: what's the differences? working with dynamic Datums. richard.stanaway@quickclose.com.au.
- [5]. Stanaway R. (2008). Dynamic Datum for PNG - Improving PNG94. 42th Surveyors PNG Congress. Port Moresby, 9 - 12 July 2008. The Surveyor in the Dynamic Technological World.
- [6]. Marc Veronneau. (2010). Discussion on the North American Vertical Reference System (NAVRS). Geoid-based North American Vertical Datum. 1B13., ID:3582. Natural Resources Canada. marc.v@nrcan.gc.ca.
- [7]. Fortes P., Lauría E., Brunini C., Amaya W., Sánchez L., Drewes H., Seemuller W. (2006). SIRGAS - a geodetic enterprise. Scientific work of the field Geodesy and Geoinformatic of the University of Hanover, J. of Coordinates, Vol. 258, pp. 59-70, 2006.
- [8]. Báo cáo khoa học xây dựng hệ quy chiếu và hệ tọa độ quốc gia. Tổng cục Địa chính. 250 trg. Hà Nội - 1999.
- [9]. Hà Minh Hòa (2001). Thuật toán xử lý bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ quốc gia. Đặc san Khoa học và Công nghệ Địa chính. Số 10/2011, trg. 9-19. Viện Nghiên cứu Địa chính.
- [10]. Hà Minh Hòa. (2003). Nghiên cứu xác định số cải chính cho phép của độ cao chuẩn các hạng và giải quyết một số vấn đề liên quan đến việc xây dựng mô hình Kvazigeoid chính xác nhờ hệ tọa độ động học. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 3-2003, trg. 110-114.
- [11]. Hà Minh Hòa, Đặng Hùng Võ, Phạm Hoàng Lân, Nguyễn Ngọc Lâu. (2005). Nghiên cứu cơ sở khoa học của việc xây dựng mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ tọa độ động học. Báo cáo Tổng kết khoa học và kỹ thuật đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp Bộ giai đoạn 2002 - 2004. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Hà Nội - 2005.

[12]. Hà Minh Hòa. (2007). 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, tháng 4/2007, tr. 3 - 11.

[13]. Hà Minh Hòa (2011). Vai trò của việc xử lý đồng thời các dữ liệu đo GPS/GLONASS trong ITRF để xác định dị thường độ cao độ chính xác cao. Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ số 8, tháng 6-2011, tr. 1-6.

[14]. Hà Minh Hòa (2012). Các phương hướng hoàn thiện Hệ độ cao quốc gia. Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ số 11, tháng 03/2012, tr. 1-9.

[15]. IERS Conventions (2003). IERS Technical Note No 32. Verlag des Bundesamts fur Kartographie und Geodasie. Frankfurt am Main 2004.

[16]. Petit G., Luzum B. (2010). IERS Conventions (2010). IERS Technical Note No 36, Verlag des Bundesamts fur Kartographie und Geodasie. Frankfurt am Main 2010, 179 pp.

[17]. Andersen O.B., Knudsen P. (2010). The DTU10 mean sea surface and mean dynamic topography - improvements in the Arctic and coastal zone. DTU Space, Technical University of Denmark. OSTST, Lissabon, Portugal, October - 2010.

[18]. Gourdean L., Lemoine J.M., Rio M.H., Hernandez F. (2003). Estimating mean dynamic topography in the tropical Pacific ocean from gravity and altimetry satellites. Geophysical Research Letters, Vol. 30, No 20, 2062, doi: 10.1029/2003GLO18200

[19]. Nikolas K. Pavlis, Simon A. Holmes, Steve C. Kenyon, John K. Factor. An Earth gravitational model to degree 2160: EGM2008. EGU General assembly 2008, Vienna, Austria, April 13 - 18, 2008.

[20]. Augath W., Ihde J. (2002). Definition and realization of Vertical Reference System - the European Solution EVRS/EVRF2000. FIG XXII International Congress, Wáhiton D.C., April 19-26 2002.○

Summary

Assoc. Prof. Dr.Sc. Ha Minh Hoa

Vietnam Institute of Geodesy and Cartography

This scientific article determined a request of the Ellipsoid coordinates accuracy in state dynamic datum, determined a relationships between a building of the state Geoid - based vertical datum and a building of the high accuracy Quasigeoid, and between the building of the high accuracy Quasigeoid and bulding of the state dynamic datum. From that were determined 5 groups of the science-technical tasks must be solved in turn for the building of the state Geoid - based connected to the state dynamic datum.○