

XÂY DỰNG LƯỚI KHÔNG CHẾ CƠ SỞ KHÔNG GIAN MỘT CẤP ĐẢM BẢO CÔNG TÁC TRẮC ĐỊA XÂY DỰNG NHÀ SIÊU CAO TẦNG

BUILDING A ONE LEVEL 3D CONTROL NETWORK ENSURE THE GEODETIC WORK IN HIGH-RISE BUILDING CONSTRUCTION

Vũ Thái Hà¹, Vũ Văn Thặng²

^{1,2} Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Email: ¹ havt@huce.edu.vn, ² thangvv@huc.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-25>

TÓM TẮT: Các tòa nhà siêu cao tầng đang được xây dựng ngày càng nhiều trên thế giới và ở Việt Nam. Cán bộ kỹ thuật Việt Nam hiện nay chưa làm chủ được hoàn toàn công tác trắc địa đảm bảo xây dựng nhà siêu cao tầng, khi số tầng của tòa nhà ngày một tăng thêm. Ở Việt Nam cần có công trình nghiên cứu đầy đủ về bản chất nội dung đảm bảo công tác trắc địa xây dựng nhà siêu cao tầng. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu của nhóm cán bộ ở bộ môn Trắc địa, Đại học Xây dựng Hà Nội về khả năng đo kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh bằng toàn đạc điện tử và GNSS trong công tác trắc địa phục vụ xây dựng nhà siêu cao tầng. Kết quả nghiên cứu đưa ra quy trình xây dựng và xử lý số liệu lưới không gian một cấp, xác định tọa độ ba chiều trong một hệ tọa độ thống nhất, từng bước đảm bảo độ chính xác sử dụng xuyên suốt quá trình thi công, khai thác nhà siêu cao tầng.

TỪ KHÓA: Nhà siêu cao tầng, hệ tọa độ không gian ba chiều, lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh, GNSS, toàn đạc điện tử.

ABSTRACTS: Super high-rise buildings are being built more and more in the world and in Vietnam. Currently, foreign experts are presiding over most of the geodetic work during the construction of super high-rise buildings in Vietnam. Vietnamese technicians are only allowed to participate in the implementation at the request of these experts. Therefore, in Vietnam, it is necessary to have a full research on geodetic work in the process of building super high-rise buildings. This article presents the research results of a group of lecturers in the Geodetic Department, Hanoi University of Civil Engineering on the ability to combine terrestrial and satellite measurements, which are measured by total station and GNSS, in geodetic work when building super high-rise. The research results are the process of building and data processing one-level spatial networks, determining three-dimensional coordinates in a unified coordinate system, step by step ensuring accuracy throughout the construction process, exploiting super high-rise buildings.

KEYWORDS: Super high-rise building, three-dimensional coordinate system, spatial terrestrial geodetic - GNSS networks, GNSS, total station.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhà siêu cao tầng là một loại hình đặc biệt của công trình dân dụng được xây dựng tại các thành phố và khu đô thị lớn. Ở nước ta hiện nay những tòa nhà cao trên 40 tầng được gọi là nhà siêu cao tầng. Với tốc độ đô thị hóa và gia tăng dân số nhanh chóng hiện nay, các tòa nhà siêu cao tầng đang mọc lên ngày càng nhiều ở các thành phố lớn của nước ta. Đây được xếp vào dạng công trình xây dựng yêu cầu độ chính xác cao. Nhìn chung các công tác bố trí xây dựng các tòa nhà cao tầng và siêu cao tầng được

thực hiện theo một quy trình chung thống nhất. Do việc xây dựng nhà siêu cao tầng được thực hiện trên cơ sở ứng dụng các công nghệ xây dựng hiện đại nên những người làm công tác trắc địa buộc phải xem xét lại các phương pháp đo đạc đã có, nghiên cứu các phương pháp, thiết bị, quy trình đo đạc mới để đáp ứng yêu cầu đảm bảo chất lượng nhà siêu cao tầng.

Nhiệm vụ chính của công tác trắc địa trong thi công nhà siêu cao tầng là đảm bảo cho công trình xây dựng đúng vị trí thiết kế, đúng kích thước hình học và điều quan trọng nhất đối với nhà siêu cao

tầng là phải đảm bảo độ thẳng đứng của công trình [1]. Với số lượng tầng nhà ngày càng lớn, việc đảm bảo độ thẳng đứng của công trình cũng như kiểm tra độ thẳng đứng này trở nên không đơn giản. Càng lên cao công trình càng bị rung lắc mạnh [2], buộc phải sử dụng các thiết bị hiện đại cũng như phương pháp đo thích hợp để đạt độ chính xác yêu cầu.

Ở nước ta trước đây thường xây dựng các công trình nhà cao tầng với số tầng từ 07 ÷ 40 tầng, phương pháp chuyển trục lên các sàn thi công chủ yếu là phương pháp đường thẳng đứng quang học bằng máy chiếu thiên đỉnh (PZL). Khi số tầng của công trình và chiều cao của công trình tăng lên, nếu sử dụng các máy chiếu thiên đỉnh để chuyển trục lên các sàn thi công sẽ làm giảm độ chính xác chiều điếm do khoảng cách chiếu tăng. Ngoài ra do ảnh hưởng rất lớn của các yếu tố môi trường như gió và nhiệt độ,... gây ra hiện tượng vặn xoắn cho công trình, làm cho vị trí các điếm chiếu bằng máy chiếu đứng bị thay đổi, ảnh hưởng đến độ chính xác bố trí và thi công công trình.

Độ chính xác của việc đo GPS trong xác định tọa độ trên công trình đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu ở nước ngoài như [3, 4] và các nghiên cứu ở Việt Nam như [5, 6]. Phương pháp xác định độ thẳng đứng của công trình bằng GPS đã được sử dụng để kiểm tra kết quả chuyển trục tại một số công trình nhà cao tầng tiêu biểu tại Việt Nam như tòa nhà Keangnam và tòa nhà Lotte Hanoi Tower tại Hà Nội [7]. Các kết quả đo đạc thực nghiệm tại các công trình này cho thấy công nghệ GPS có độ chính xác hoàn toàn đảm bảo được độ chính xác cần thiết khi bố trí và đo kiểm tra độ thẳng đứng của công trình.

Khi chiều cao của công trình ngày càng tăng, cùng với các tác động của ngoại cảnh khiến cho việc đảm bảo yêu cầu của công tác trắc địa ngày càng khó khăn hơn. Để nâng cao hiệu quả của công tác trắc địa trong thi công nhà cao tầng, siêu cao tầng, gần đây có một số nghiên cứu như [7] với việc áp dụng đo GNSS – RTK kết hợp toàn đạc điện tử (TĐĐT) trong thi công nhà siêu cao tầng. Trong [8], các tác giả đã nghiên cứu ứng dụng lưới tam giác không gian trong chuyển trục và độ cao lên trong xây dựng nhà cao tầng, cho thấy hướng nghiên cứu này là khả thi. Tuy nhiên, vẫn cần có thêm những nghiên cứu mang tính tổng hợp, đầy đủ về bản chất nội dung đảm bảo công tác trắc địa xây dựng nhà siêu cao tầng, cũng như đưa thêm các giải pháp để thực hiện tốt công tác này.

Bài báo đã trình bày tổng hợp chuỗi các kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả về công tác trắc địa

trong thi công xây dựng nhà siêu cao tầng. Các vấn đề trình bày trong bài báo đều đã được kiểm chứng bằng đo đạc, tính toán số liệu thực nghiệm. Bài báo với mục đích tổng kết lại quy trình xây dựng và xử lý số liệu lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh phục vụ công tác trắc địa trong xây dựng nhà siêu cao tầng. Đồng thời làm rõ bản chất của các công tác trắc địa trong xây dựng dạng công trình này.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. LƯỚI CƠ CỞ ĐẢM BẢO CÔNG TÁC TRẮC ĐỊA XÂY DỰNG NHÀ SIÊU CAO TẦNG

Nội dung của công tác trắc địa cơ bản trong quá trình thi công xây dựng nhà cao tầng, siêu cao tầng cũng như thi công xây dựng một công trình dân dụng – công nghiệp nói chung có quy trình sau:

Thành lập xung quanh công trình một mạng lưới cơ sở để bố trí công trình. Mạng lưới này có tác dụng chuyển thiết kế ra ngoài thực địa. Hệ tọa độ sử dụng cùng với giai đoạn khảo sát thiết kế, thường là hệ tọa độ quốc gia. Độ chính xác của lưới bố trí yêu cầu không cao, chỉ tương đương với lưới đo vẽ bản đồ tỉ lệ rất lớn 1/1000 – 1/500 đã được sử dụng trong thiết kế công trình [9].

Kích thước nhà siêu cao tầng được cố định ngoài thực địa nhờ lưới tim trục. Điếm tim trục là điếm giao của các trục chính tại mỗi tầng. Theo lý thuyết công trình phải được xây dựng theo một phương thẳng đứng, nghĩa là các điếm tim trục tại các tầng phải tạo thành đường thẳng đứng. Lưới tim trục thường được đo các trị đo mặt đất bằng TĐĐT và xử lý số liệu theo phương pháp bình sai lưới tự do với tọa độ quốc gia chỉ sử dụng như điếm khởi tính. Yêu cầu độ chính xác của lưới tim trục rất cao, sai số cho phép là 3mm [9], [1]. Lưới tim trục, là lưới mặt bằng (2D), cần được tính chuyển về hệ tọa độ công trình để phục vụ thi công.

Khi triển khai thi công xây dựng công trình, các điếm của lưới tim trục bị mất, vì vậy cần phải cố định chúng thông qua lưới định vị. Lưới định vị thường có 4 ÷ 5 điếm mốc nằm ngoài phạm vi ảnh hưởng của nhà siêu cao tầng và được liên kết với các điếm tim trục. Ngoài ra lưới định vị còn bổ sung một số điếm trong lưới bố trí để phục vụ cho công tác thi công phần dưới cốt 0.0. Do điều kiện của mặt bằng xây dựng, thường không có sự thông hướng giữa các điếm mốc định vị với các điếm trong lưới tim trục. Biện pháp hiệu quả để đo đạc là kết hợp giữa TĐĐT và GNSS được đề cập trong [10]. Trong

đó, lưới định vị được đo bằng công nghệ GNSS để liên kết với các điểm tim trực. Các điểm tim trực và các điểm mốc bố trí được đo trị đo mặt đất bằng TĐĐT. Lưới định vị phải có độ chính xác đảm bảo xác định tim trực, nếu là lưới 2 cấp thì sai số lưới cấp trên yêu cầu là $\pm 1\text{mm}$. Đây là công tác rất khó đảm bảo, đặc biệt trong thời gian rất ngắn để đảm bảo tiến độ thi công. Vì vậy lưới định vị không gian ba chiều (3D) được đo kết hợp mặt đất - vệ tinh và tính bình sai tự do một cấp trong hệ tọa độ địa diện chân trời (xyz) là hợp lý để thực hiện công tác trên.

Quá trình thi công phần ngầm, sử dụng các mốc bố trí được tính chuyển từ hệ tọa độ địa diện không gian 3D (xyz) đã được tính bình sai tự do trong lưới định vị một cấp, về tọa độ công trình $x'y'$ và độ cao h' .

Phần trên cốt 0.0 sử dụng máy chiếu đứng kết hợp với GNSS đo theo phân đoạn để chuyển trực lên tầng [11]. Giai đoạn này cần có lưới chuyển trực. Lưới chuyển trực thường đồng dạng với lưới tim trực và được xây dựng ở vị trí phù hợp cho việc đặt máy chiếu đứng để chuyển trực lên tầng. Lưới chuyển trực được xây dựng sau khi thi công xong cốt 0.0. Lưới chuyển trực có độ chính xác yêu cầu tương đương với lưới tim trực, vì vậy được đo kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh đồng thời với các mốc định vị. Cả hai hệ thống các điểm mốc định vị và mốc chuyển trực được xây dựng dưới dạng lưới 3D, bình sai tự do trong hệ tọa độ địa diện xyz, sau đó chuyển về hệ tọa độ công trình $x'y'$. Từ giai đoạn này về sau cần đánh giá độ ổn định các mốc định vị.

Khi thi công xây lắp trên các sàn, sử dụng tọa độ các mốc chuyển trực đã chuyển lên mặt sàn. Để giảm ảnh hưởng của sai số tích lũy tăng theo chiều cao xây dựng cần chiếu tọa độ lên tầng theo phương pháp phân đoạn. Các điểm định vị và các điểm chuyển trực trên các mặt sàn đo kết hợp TĐĐT và GNSS liên kết với nhau tạo thành lưới không gian cạnh ngắn và cực ngắn, được bình sai tự do trong lưới một cấp là nội dung cơ bản để đảm bảo công tác chuyển trực lên tầng [12].

Do ảnh hưởng của tác động ngoại cảnh, công trình càng lên cao càng bị rung lắc mạnh. Theo các nghiên cứu [2, 4, 7], đến cao độ 200m biên độ rung lắc là mm, đến 400m biên độ rung lắc là dm, trên 600m biên độ rung lắc đạt 1-2m, với chu kỳ 0,5 – 2s. Để giảm ảnh hưởng của dao động này cần phải đo liên tục và xử lý kết quả đo theo qui trình phù hợp [2]. Đo vệ tinh GNSS theo qui trình đo tĩnh 30 phút đáp ứng được yêu cầu này [10].

Sau mỗi phân đoạn, đo, bình sai lưới không gian một cấp các điểm định vị và các điểm chuyển trực trên phân đoạn. Các mốc định vị được đánh giá độ ổn định. Các điểm chuyển trực trên phân đoạn được hoàn nguyên và chuyển về tọa độ công trình $x'y'$ và h' .

Các điểm định vị còn được sử dụng để đo nghiêng công trình. Các mốc định vị được bố trí ở các vị trí đảm bảo đặt TĐĐT để đo tới các gương giấy gắn trên các điểm quan trắc phục vụ cho công tác đo nghiêng. Lưới đo nghiêng là lưới không gian tự do một cấp.

2.2. Xây dựng lưới không gian mặt đất – vệ tinh bằng toàn đạc điện tử và GNSS

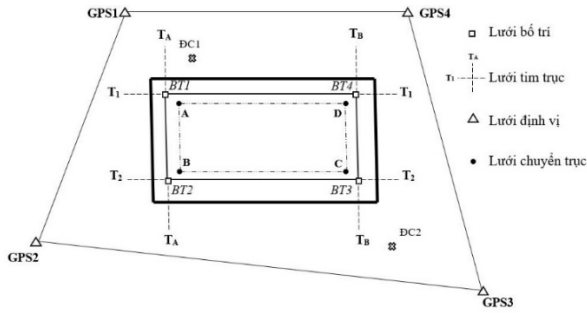
Lưới bố trí và định vị công trình có độ chính xác không cao, chỉ cần đáp ứng độ chính xác tương đương của tài liệu khảo sát. Các giai đoạn tiếp theo lưới cơ sở cần có độ chính xác rất cao, khởi đầu từ lưới tim trực.

Sau khi xác định xong lưới tim trực, cần xây dựng lưới định vị. Lưới định vị cần tối thiểu 3 mốc. Số lượng phù hợp là 4 ÷ 5 mốc. Mốc được đặt ở các vị trí ổn định, đảm bảo đo GNSS và cần 2 cặp điểm thông hướng để phục công tác đo nghiêng. Tùy theo hình dáng của mặt bằng công trình, lưới tim trực cần ít nhất 2 trục với 3 điểm, phù hợp là 4 đến 6 điểm với 4 đến 8 trục. Với mặt bằng công trình hình chữ nhật nên xây dựng lưới tim trực dạng tứ giác trác địa cạnh cực ngắn. Đo GNSS tại các điểm định vị và một số điểm trong lưới tim trực. Đo TĐĐT các điểm trong lưới tim trực và 3 ÷ 4 điểm mốc bố trí. Khi xây dựng lưới tiến hành ước tính độ chính xác theo lưới mặt bằng hoặc lưới không gian với độ chính xác $\pm 3\text{mm}$ [10]. Sau khi xây dựng và đo đạc xong lưới, tiến hành bình sai tự do lưới không gian một cấp trong hệ tọa độ địa diện bằng thuật toán chuyên dụng. Chuyển tọa độ (xyz) về tọa độ công trình ($x'y'$ và h'). Nếu xây dựng lưới phục vụ công tác chuyển trực gồm 2 cấp theo truyền thống: lưới định vị và lưới tim trực thì cần tính đến sự suy giảm độ chính xác giữa các cấp lưới, khiến yêu cầu độ chính xác lưới định vị rất cao và khó thực hiện. Vì vậy cần thiết phải xây dựng lưới một cấp trong trường hợp này [10].

Giai đoạn 2, sau thi công xong cốt 0.0, xây dựng lưới chuyển trực, đồng dạng và cùng độ chính xác với lưới tim trực. Đo GNSS tại tất các điểm định vị và không ít hơn 3 điểm trong lưới chuyển trực. Đo TĐĐT tại tất cả các điểm chuyển trực. Bình sai tự do lưới không gian một cấp trong hệ tọa độ địa diện

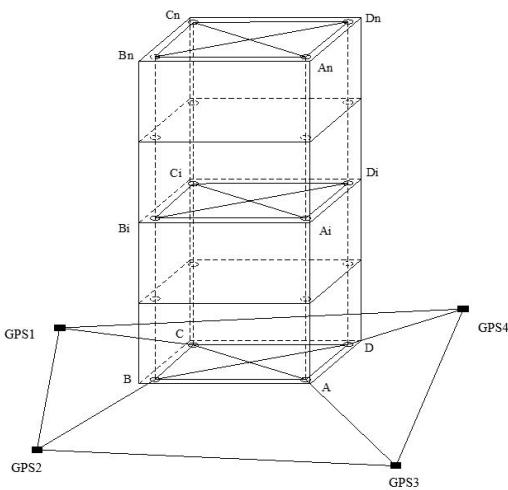
bằng thuật toán chuyên dụng. Đánh giá độ ổn định mốc định vị. Chuyển tọa độ địa diện (xyz) về tọa độ công trình (x'y' và h'), xác định tọa độ tim trục và các mốc chuyển trục ở cốt 0,0 làm cơ sở cho các giai đoạn sau.

Hình 1 phân biệt các loại lưới phục vụ thi công xây dựng nhà siêu cao tầng theo trình tự: lưới bố trí, lưới tim trục, lưới định vị và lưới chuyển trục.



Hình 1. Các loại lưới trong thi công nhà siêu cao tầng

Các giai đoạn sau, thực hiện trên mỗi phân đoạn. Trong các phân đoạn, phù hợp từ 10 đến 20 tầng, được chuyển trục bằng máy chiếu đứng. Đối với công trình cao dưới 200m có thể chuyển trục bằng RTK [7]. Xong mỗi phân đoạn, đo GNSS tại tất cả các điểm định vị và không ít hơn 3 điểm trong lưới chuyển trục trên mặt sàn phân đoạn. Đo TĐĐT tại tất cả các điểm chuyển trục trên mặt sàn phân đoạn. Bình sai tự do lưới không gian một cấp trong hệ tọa độ địa diện bằng thuật toán chuyên dụng. Đánh giá độ ổn định mốc định vị. Chuyển tọa độ không gian địa diện (xyz) về tọa độ công trình và hoàn nguyên tọa độ (x'y' và h') trên mặt sàn phân đoạn. Cơ sở để hoàn nguyên điểm là tọa độ của mốc chuyển trục đã xác định ở cốt 0.0.



Hình 2. Lưới định vị và lưới chuyển trục lên các tầng qua các phân đoạn

Để phục vụ công tác đo nghiêng công trình, cần có 2 cặp mốc định thông hướng và ở vị trí đảm bảo công tác đo nghiêng.

Hệ thống các lưới không chế trắc địa sử dụng trong các giai đoạn xây dựng nhà siêu cao tầng được sơ đồ hóa ở hình 3.



Hình 3. Lưới không gian một cấp xây dựng qua các giai đoạn

2.3. Cải chính trị đo và hiệu chỉnh tọa độ

2.3.1. Cải chính trị đo

Trị đo vệ tinh đưa vào bài toán là các baseline ΔXYZ với ma trận trọng số P_{XYZ} đo bằng GNSS. Trị đo mặt đất thực hiện bằng TĐĐT, khi đưa vào bài toán bình sai là khoảng cách thực S (khoảng cách nghiêng), góc bằng β và góc thiên đỉnh Z (hoặc góc nghiêng V). Trị đo mặt đất thực hiện 2 ÷ 3 vòng đo, lấy giá trị trung bình. Trọng số trị đo mặt đất lấy sai số trung phương trị trung bình các kết quả đo. Theo lý thuyết, các dạng trị đo mặt đất và vệ tinh của lưới không gian trước khi đưa vào bài toán bình sai cần được hiệu chỉnh một số nguồn sai số để đảm bảo và nâng cao độ chính xác theo yêu cầu thành lập lưới [13].

Giá trị cải chính ảnh hưởng của chiều cao máy, gương vào trị đo khoảng cách bằng TĐĐT và trị đo GNSS theo công thức:

$$S_{\text{tinhchuyen}} = \sqrt{S_{\text{do}}^2 + (h_{\text{may}} - h_{\text{gương}})^2 - 2S_{\text{do}}(h_{\text{may}} - h_{\text{gương}})\cos Z} \quad (1)$$

Trong đó: $S_{\text{tinhchuyen}}$ là khoảng cách thực giữa hai điểm đo đã được quy về mốc; S_{do} là khoảng cách nghiêng đo được từ tâm máy tới tâm gương; h_{may} là chiều cao máy; $h_{\text{gương}}$ là chiều cao gương; Z là giá trị góc thiên đỉnh đo.

Giá trị cải chính để chuyển các góc bằng đo trên sàn thi công về mặt phẳng địa diện xoy là không đáng kể và coi như bằng 0 [14]. Lý do là ở

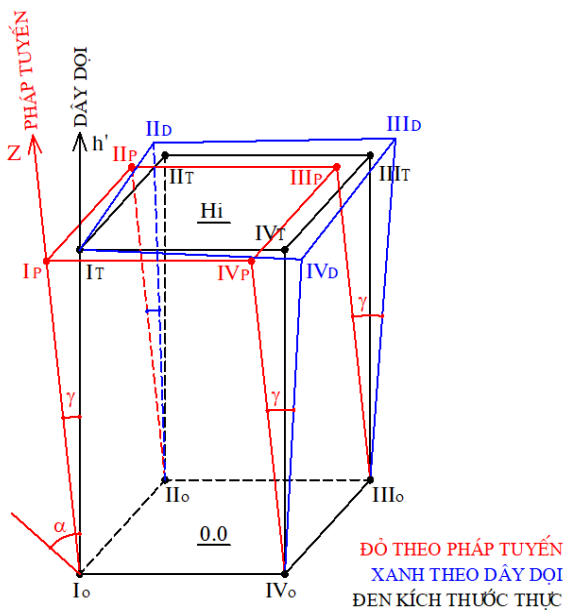
sơ đồ hình lưới ứng dụng trong công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng. Khi đó, góc bằng được đo bằng máy TĐĐT trong lưới không chế trắc địa trên cùng mặt sàn tầng. Các điểm này nằm trên một mặt thủy chuẩn, do đó độ cao địa diện của chúng coi như bằng nhau.

Giá trị hiệu chỉnh góc thiên đỉnh đo được về tâm mốc tính theo công thức:

$$\delta z = \frac{(h_{may} - h_{guong})}{S_{tinhchuyen}} \sin Z \cdot \rho'' \quad (2)$$

2.3.2. Hiệu chỉnh tọa độ sau bình sai

Tọa độ địa diện (xyz) sau bình sai và tọa độ công trình (x'y' và h') thực tế nằm trong 2 hệ quy chiếu khác nhau. Sai khác tọa độ giữa 2 hệ quy chiếu được thể hiện trong hình 4. Trên tầng thứ i, cần hoàn nguyên lại chính xác vị trí điểm chuyển trục, sao cho điểm này ở tầng thứ i phải có tọa độ mặt bằng giống như ở cốt 0.0, nhằm đảm bảo trục chuyển lên các tầng thẳng đứng theo phương đường dây dọi. Với độ cao h_i của tầng thứ i, tọa độ địa diện và tọa độ công trình của các điểm song trùng ở hai hệ quy chiếu khác nhau, bị lệch theo chiều cao do ảnh hưởng độ lệch dây dọi γ .



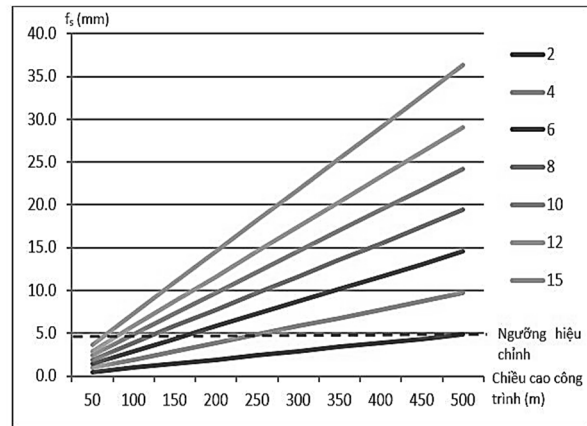
Hình 4. Ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo chiều cao

Giá trị ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình tới tọa độ điểm được tính theo công thức:

$$f_s = \frac{\gamma''}{\rho''} h_i; \quad \Delta x_j = f_s \cos \alpha \quad (3)$$

$$\Delta y_j = f_s \sin \alpha$$

Trong đó: f_s là độ lệch vị trí điểm song trùng trong hệ tọa độ địa diện và hệ tọa độ công trình theo chiều cao h_i ; $\Delta x_j, \Delta y_j$ là các độ lệch tọa độ thành phần của điểm j trên tầng thứ i; γ là độ lệch dây dọi; α là phương vị của độ lệch.



Hình 5. Biểu đồ ảnh hưởng độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình

Hình 5 biểu diễn ảnh hưởng độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình và mức độ ảnh hưởng cần hiệu chỉnh tọa độ để đảm bảo độ chính xác yêu cầu của công trình. Các mức độ lệch dây dọi chọn để biểu diễn là từ 2'' đến 15''.

Nhận thấy ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình trong xây dựng lưới chuyển trục lên nhà siêu cao tầng bằng phương pháp mặt đất - vệ tinh là đáng kể và cần được hiệu chỉnh, nhất là trong trường hợp chiều cao công trình lớn hơn 100m.

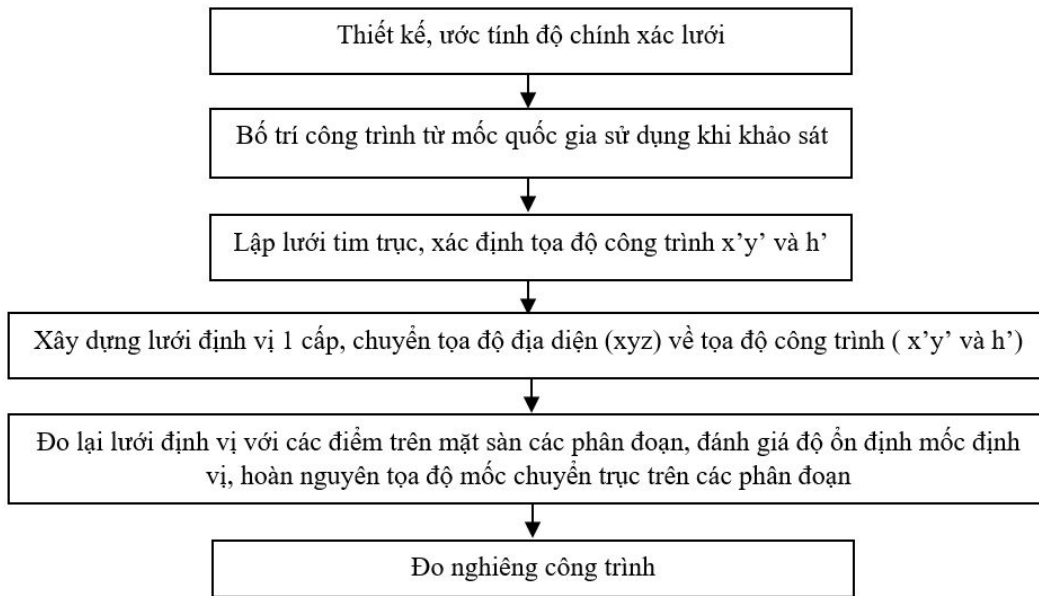
Đường dây dọi có phương vuông góc với mặt cong thủy chuẩn, do vậy các đường dây dọi không song song với nhau mà đều hướng về tâm Trái đất. Đối với nhà cao tầng, khoảng cách giữa hai điểm trên mặt bằng móng khi chiếu lên mặt sàn tầng có độ cao H_i sẽ thay đổi một lượng là ΔS_H . Do độ không song song giữa các đường dây dọi đi qua điểm đầu và điểm cuối của cạnh, một cạnh bất kỳ trong lưới trên sàn tầng khi chuyển về mặt bằng gốc sẽ có lệch một giá trị ΔS_H theo công thức:

$$\Delta S_H = -\frac{\Delta H}{R_m} \cdot S \quad (4)$$

trong đó: S - khoảng cách đo giữa các điểm đang xét; $\Delta H = H_i - H_0$, với H_i là độ cao mặt sàn xây dựng, H_0 là độ cao mặt bằng móng; $R_m = R_0 + H_0$, với R_0 là bán kính trung bình của Ellipsoid (thường lấy $R_0 = 6371$ km).

Bảng 1. Ảnh hưởng do độ không song song của đường dây dọi tới khoảng cách ΔS_H (mm) theo độ cao mặt chiếu

S (m) \ ΔH (m)	50	75	100	150	200	300	400
25	0,20	0,29	0,39	0,59	0,78	1,18	1,57
50	0,39	0,59	0,78	1,18	1,57	2,35	3,14
75	0,59	0,88	1,18	1,77	2,35	3,53	4,71
100	0,78	1,18	1,57	2,35	3,14	4,71	6,28



Hình 6. Xây dựng lưới không gian một cấp đảm bảo công tác trắc địa xây dựng nhà siêu cao tầng

Số hiệu chỉnh vào giá số tọa độ giữa điểm đầu và điểm cuối của đường chéo:

$$v_{\alpha} = \Delta S_H \cos \alpha ; \quad v_{\beta} = \Delta S_H \sin \alpha \quad (5)$$

Nhận thấy khoảng cách chiếu theo phương thẳng đứng khi chuyển tọa độ lên tầng bị ảnh hưởng đáng kể bởi độ không song song của các đường dây dọi (bảng 1).

3. XÂY DỰNG LƯỚI KHÔNG GIAN VÀ THUẬT TOÁN BÌNH SAI

3.1. Trình tự xây dựng lưới không gian

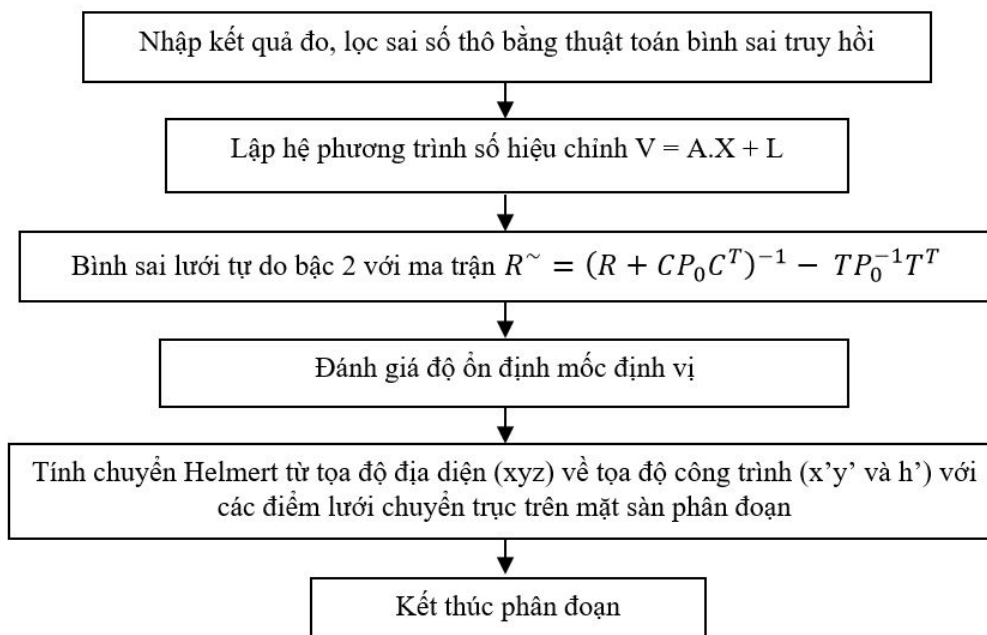
Trình tự các bước xây dựng lưới không gian một cấp đảm bảo công tác trắc địa xây dựng nhà siêu cao tầng được thể hiện ở hình 6.

Bước đầu, tiến hành thiết kế, ước tính độ chính xác lưới và bố trí công trình từ mốc quốc gia sử dụng trong giai đoạn khảo sát. Trong lần đo đầu tiên, sau khi lập xong lưới tìm trục và lưới định vị trên mặt bằng móng, đặt máy thu GNSS tại tất cả các điểm lưới, tiến hành đo theo phương pháp đo tĩnh. Sử dụng TĐĐT để đo góc, cạnh các điểm lưới tìm trục.

Sau đó bình sai lưới kết hợp trị đo mặt đất - GNSS để xác định tọa độ các điểm trên mặt bằng gốc.

Trong các lần đo tiếp theo của việc chính xác hóa lưới trục trên sàn tầng khởi đầu mỗi phân đoạn, sau khi chiếu các điểm trục lên đầu mỗi phân đoạn bằng máy chiếu đứng, tiến hành đo góc và cạnh lưới tạo bởi các điểm chiếu bằng máy TĐĐT. Đồng thời đặt máy GNSS tại các điểm định vị trên mặt bằng gốc và các điểm chiếu trên sàn tầng, tiến hành đo tương tự như ở lần đo đầu. Kết quả đo được xử lý bằng thuật toán bình sai tự do lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh [10], xác định tọa độ các điểm chiếu trên sàn tầng đầu tiên của mỗi phân đoạn. Độ lệch tọa độ các điểm chiếu trên đầu mỗi phân đoạn và tọa độ tương ứng của chúng trên mặt bằng gốc thể hiện độ chính xác chuyển trục công trình lên cao. Trường hợp độ lệch này vượt quá hạn sai theo TCVN 9398 : 2012 [14], cần tiến hành hoàn nguyên điểm.

Các điểm định vị của lưới đã xây dựng trên mặt bằng gốc, đồng thời được sử dụng để đo kiểm tra độ nghiêng công trình.



Hình 7. Sơ đồ thuật toán xử lý số liệu lưới chuyển trực

3.2. Thuật toán bình sai không gian lưới kết hợp mặt đất – vệ tinh

Lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh tại cốt 0.0 hay trên sàn tầng đầu tiên mỗi phân đoạn chiếu đều cần được xử lý số liệu theo phương pháp bình sai tự do lưới không gian số khuyết dương trong hệ tọa độ địa diện. Sau bình sai, tính chuyển Helmert về hệ tọa độ địa diện quy ước phù hợp với công trình. Kết quả của quá trình xử lý số liệu, ta thu được tọa độ các điểm lưới trên cốt 0.0 cũng như tọa độ các điểm lưới chuyển trực trên tầng đầu tiên của mỗi phân đoạn chiếu. Làm cơ sở để thực hiện công tác trắc địa trong xây dựng nhà siêu cao tầng. Hình 7 trình bày sơ đồ thuật toán xử lý số liệu lưới chuyển trực với bài toán bình sai tự do lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh.

Trong [10] đã thực hiện một số thực nghiệm đo đạc và xử lý số liệu theo quy trình trên, từ đó chứng minh được:

- Khả năng áp dụng lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong chuyển trực và độ cao lên nhà siêu cao tầng.
- Ưu điểm thuật toán bình sai tự do trong xử lý số liệu lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh.
- Có thể áp dụng TĐĐT và GNSS cùng với thuật toán xử lý lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh trong đo nghiêng nhà siêu cao tầng.

Các thực nghiệm về xây dựng lưới không gian, xử lý số liệu lưới theo phương pháp bình sai tự do số khuyết dương trong hệ tọa độ địa diện, chuyển trực lên tầng đã được trình bày trong các nghiên cứu [2, 9, 10] của nhóm tác giả. Bài báo này với mục đích tổng hợp chuỗi các kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả về công tác trắc địa trong thi công xây dựng nhà siêu cao tầng.

4. KẾT LUẬN

Chỉ có kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh mới đủ điều kiện và khai thác sử dụng tối đa các kết quả đo, xây dựng lưới tự do một cấp, xác định tọa độ 3D đảm bảo xây dựng nhà siêu cao tầng trong điều kiện chịu ảnh hưởng rung lắc công trình. Bằng một lưới định vị, đo kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh, bình sai tự do trong một cấp, xác định tọa độ 3D, đủ đảm bảo độ chính xác thực hiện công tác trắc địa xây dựng nhà siêu cao tầng trong cả quá trình thi công xây lắp công trình.

Để phục vụ thi công công trình, từ kết quả tọa độ không gian trong hệ tọa độ địa diện chân trời cần chuyển về tọa độ công trình. Với yêu cầu gấp rút đảm bảo tiến độ thi công xây lắp nhà siêu cao tầng, cần có phần mềm xử lý số liệu phù hợp. Phần mềm phục vụ quy trình xử lý số liệu trên đã được nhóm tác giả xây dựng và công bố.

Kết quả nghiên cứu trình bày trong bài báo, cho thấy bản chất của công tác trắc địa đảm bảo thi công

nhà siêu cao tầng được làm rõ. Đồng thời cũng chỉ ra cán bộ kỹ thuật và thiết bị trắc địa hiện có của chúng ta đủ đảm bảo thực hiện công tác trắc địa trong thi công nhà siêu cao tầng ở Việt Nam chứ không chỉ là những người thực hiện theo chỉ đạo của chuyên gia nước ngoài như hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Viện Khoa học công nghệ xây dựng - Bộ Xây dựng (2012), “Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCVN 9364: 2012, Nhà cao tầng - Kỹ thuật đo đạc phục vụ công tác thi công”.
- [2] Vũ Văn Thặng, Bùi Duy Quỳnh, Vũ Thái Hà, (2014), “Phương pháp xử lý số liệu quan trắc liên tục xác định tham số dao động công trình”, Tạp chí Khoa học đo đạc và bản đồ, (21), tr.54-59.
- [3] Douglas MCL Hayes, Ian R Sparks, and Joël Van Cranenbroeck (2006), *Core Wall Survey Control System for High Rise Building*, in XXIII FIG Congress: Shaping the Change, Munich, Germany.
- [4] Joël Van Cranenbroeck, Doug Hayes, Soang Hun OH, and Mohammed Haider (2009), *Core Wall Control System – The State of Art*, in 7th FIG Regional Conference, Ha Noi, Viet Nam.
- [5] Trần Mạnh Nhất và nnk (2002), *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công trình công nghiệp và nhà cao tầng*, Hà Nội, 2002.
- [6] Trần Việt Tuấn (2007), *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công trình ở Việt Nam*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [7] Diêm Công Trang (2021), “Nghiên cứu giải pháp kỹ thuật nâng cao hiệu quả công tác trắc địa trong thi công công trình nhà siêu cao ở Việt nam”, Luận án Tiến sĩ kỹ t24, ĐH Mỏ - Địa Chất.
- [8] Nguyễn Quang Thắng, Đặng Thị Thùy (2010). “Nghiên cứu ứng dụng lưới tam giác không gian để chuyển trục công trình và độ cao lên cao trong xây dựng nhà cao tầng”, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ-Địa chất, (29).
- [9] Vũ Thặng (2020), “Nghiên cứu độ chính xác cần thiết lưới khống chế trắc địa trong các giai đoạn xây dựng nhà cao tầng”, Đề tài NCKH cấp trường, mã số: 27-2020/KHXD, Đại học Xây dựng.
- [10] Vũ Thái Hà (2020), *Nghiên cứu xây dựng lý thuyết bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh trong thi công xây dựng công trình*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Mỏ - Địa chất.
- [11] Nguyễn Việt Hà (2014), “Chuyển trục công trình lên nhà cao tầng bằng máy chiếu đứng kết hợp với công nghệ GPS”, Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất, (47), tr82-87.
- [12] Vũ Thái Hà, Nguyễn Quang Thắng (2018), “Một số vấn đề về xử lý số liệu lưới GPS - mặt đất trong thi công nhà siêu cao tầng”, Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, số 10/2018.
- [13] Nguyễn Quang Thắng (2016), “Luận giải ảnh hưởng của một số yếu tố đến độ chính xác chuyển trục công trình lên các sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng”, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, (53).
- [14] Lê Văn Hùng (2014), *Nghiên cứu bình sai kết hợp trị đo GPS và trị đo mặt đất trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời áp dụng cho các mạng lưới trắc địa công trình*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.