

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

**VŨ THÁI HÀ**

**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**

**NGÀNH: KỸ THUẬT TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ**  
**MÃ SỐ: 9520503**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI - 2020**

Công trình được hoàn thành tại: **Bộ môn Trắc địa công trình,  
Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai,  
Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội**

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, Trường Đại học Mỏ - Địa chất**
- 2. PGS. TS Nguyễn Quang Thắng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất**

Phản biện 1: **PGS. TS Trần Đắc Sử,**

Trường ĐH Giao thông vận tải.

Phản biện 2: **TS. Lê Đại Ngọc,**

Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu.

Phản biện 3: **PGS. TS Nguyễn Quang Tác,**

Trường ĐH Kiến trúc Hà Nội.

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Trường, họp tại Trường Đại học Mỏ - Địa chất, vào hồi ... giờ ... ngày ... tháng ... năm ...

Có thể tìm hiểu luận án tại:

**Thư viện Quốc Gia Việt Nam**

**Thư viện Trường đại học Mỏ - Địa chất**

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Lưới không gian trước đây được xây dựng bằng công nghệ đo đạc truyền thống gồm trị đo cạnh nghiêng, góc ngang và góc thiên đỉnh. Ngày nay, xây dựng lưới không gian có thể kết hợp thêm trị đo bằng công nghệ định vị vệ tinh. Việc nghiên cứu lý thuyết bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh có ý nghĩa quan trọng trong xây dựng công trình, đặc biệt là đối với các công trình có kích thước, chiều cao lớn, yêu cầu độ chính xác cao đang được triển khai xây dựng rộng rãi ở nước ta.

### 2. Mục đích, đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Mục đích nghiên cứu của luận án là xây dựng phương pháp và thuật toán bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh nhằm nâng cao hiệu quả phục vụ thi công xây dựng các công trình độ chính xác cao. Đối tượng nghiên cứu là lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh. Phạm vi nghiên cứu trong lĩnh vực xây dựng công trình có chiều cao lớn.

### 3. Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu thuật toán bình sai lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh; lựa chọn hệ quy chiếu, thuật toán phù hợp để xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh và tính chuyển về tọa độ công trình để thực hiện công tác trắc địa khi xây dựng công trình có chiều cao lớn, yêu cầu độ chính xác cao; nghiên cứu khả năng ứng dụng dạng lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh cạnh ngắn trong xây dựng công trình có chiều cao lớn, yêu cầu độ chính xác cao.

### 4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp thống kê, phương pháp phân tích, phương pháp thực nghiệm, phương pháp so sánh, phương pháp toán học và ứng dụng tin học.

### 5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Luận án góp phần hoàn thiện lý thuyết xử lý số liệu lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình, các kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng trong giảng dạy, nghiên cứu khoa học và thực tế sản xuất.

### 6. Các luận điểm bảo vệ

- *Luận điểm thứ nhất:* Thuật toán bình sai lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh được trình bày trong luận án phù hợp để xử lý số liệu đo mạng lưới công trình cạnh ngắn trong xây dựng công trình có chiều cao lớn.

- *Luận điểm thứ hai:* Ứng dụng mạng lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh được xử lý theo thuật toán bình sai lưới tự do phù hợp với bản chất và quy trình xây dựng lưới khống chế để chuyển trục công trình lên cao trong thi công nhà siêu cao tầng. Giải pháp đề xuất để chuyển độ cao lên các sàn tầng thuộc các phân đoạn của nhà cao tầng nhờ lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh có tính khả thi và đem lại hiệu quả cao.

- *Luận điểm thứ ba:* Trong luận án đã làm rõ cơ sở lý thuyết xác định các giá trị cải chính trị đo trước bình sai và hiệu chỉnh tọa độ sau bình sai của lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh, nhằm nâng cao độ chính xác chuyển trục công trình khi thi công nhà siêu cao tầng.

## **7. Các điểm mới của luận án**

1 - Đề xuất các giải pháp ứng dụng lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình có chiều cao lớn.

2 - Xây dựng thuật toán phù hợp để xử lý số liệu đo của mạng lưới công trình không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình có chiều cao lớn.

3 - Đề xuất phương pháp xác định các giá trị cải chính trị đo trước bình sai và hiệu chỉnh tọa độ sau bình sai của lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh, nhằm nâng cao độ chính xác chuyển trục công trình khi thi công nhà siêu cao tầng.

## **8. Cấu trúc và nội dung luận án**

Cấu trúc luận án gồm ba phần: mở đầu, 4 chương nội dung và kết luận.

### **Chương 1**

## **TỔNG QUAN VỀ LƯỚI KHỐNG CHẾ TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU LƯỚI TRẮC ĐỊA KẾT HỢP TRỊ ĐO MẶT ĐẤT - VỆ TINH**

### **1.1. Tổng quan về lưới khống chế trắc địa công trình**

#### **1.1.1. Đặc điểm về lưới khống chế trắc địa công trình**

#### **1.1.2. Các phương pháp xây dựng lưới khống chế trắc địa công trình**

Các phương pháp truyền thống, phương pháp sử dụng công nghệ GNSS, phương pháp kết hợp trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh

### **1.2. Tổng quan về xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh**

#### **1.2.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới**

Hiện nay, các trị đo mặt đất và vệ tinh đã có thể kết hợp với nhau để bình sai trong một mạng lưới chung. Vấn đề cần giải quyết đối với dạng lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh là các dạng trị đo này ở những mặt quy chiếu khác nhau. Có thể tóm tắt các hướng nghiên cứu thành các nhóm như sau:

1. Nghiên cứu xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong mặt phẳng: [38], [45], [50], [51].
2. Nghiên cứu bình sai lưới không gian kinh điển khi chưa xuất hiện công nghệ định vị vệ tinh: [32], [40], [47].
3. Nghiên cứu về xử lý số liệu lưới không gian thành lập bởi các trị đo vệ tinh: [35], [43], [48].
4. Nghiên cứu lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất truyền thống và vệ tinh: [31], [35], [44], [45], [50], [52], [53].
5. Nghiên cứu ứng dụng lưới có trị đo GNSS trong xây dựng công trình: [33], [34], [36], [41], [42].

### ***1.2.2. Tình hình nghiên cứu ở Việt Nam***

Nghiên cứu về ứng dụng công nghệ định vị vệ tinh và lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình ở nước ta có thể chia thành các nhóm:

1. Ứng dụng công nghệ định vị vệ tinh trong xây dựng công trình: [8], [9], [12], [13], [15], [22], [23], [24], [26], [28], [29], [30].
2. Nghiên cứu xử lý số liệu lưới vệ tinh và lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh: [5], [7], [10], [11], [14], [16], [17], [18], [19], [20], [21].

### ***1.2.3. Các phần mềm xử lý số liệu trắc địa trong và ngoài nước***

Các phần mềm xử lý số liệu trắc địa rất quan trọng, để có kết quả tính toán nhanh chóng và chuẩn xác nhất. Tuy nhiên ở nước ta, các phần mềm vẫn tập trung ở những dạng lưới đơn giản mà chưa có khả năng xử lý những dạng lưới phức tạp như lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh hay xử lý lưới không gian.

## **1.3. Đánh giá chung về tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước, hướng nghiên cứu của luận án**

### ***1.3.1. Đánh giá về tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước***

1. Xử lý số liệu luôn là công tác nội nghiệp quan trọng của trắc địa. Nghiên cứu về xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh đang là vấn đề được quan tâm khai thác cả trong và ngoài nước.
2. Trong nhiều trường hợp xây dựng công trình, việc áp dụng cả hai loại trị đo mặt đất và vệ tinh để xây dựng lưới sẽ tăng tính khả thi cũng như độ chính xác.

3. Vấn đề tiên quyết trong xử lý số liệu bài toán bình sai kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh là lựa chọn hệ quy chiếu để tính toán. Mỗi phương pháp lựa chọn hệ quy chiếu sẽ phù hợp với một số trường hợp cụ thể khác nhau.

4. Với những ưu điểm vượt trội, công nghệ định vị vệ tinh đã tham gia hầu hết các dạng công tác trắc địa cũng như các dạng công trình xây dựng khác nhau. Mỗi dạng công trình đều có đặc thù, yêu cầu riêng, cần linh hoạt trong công tác xây dựng cũng như xử lý số liệu lưới.

### ***1.3.2. Các vấn đề còn tồn tại***

1. Ở nước ta công nghệ định vị vệ tinh mới chỉ dừng ở mức ứng dụng, vẫn còn nhiều vấn đề chưa được làm sáng tỏ, đặc biệt là vấn đề xử lý số liệu liên quan đến trị đo vệ tinh.

2. Lưới khống chế phục vụ thi công xây dựng công trình ở nước ta hiện nay chủ yếu vẫn được thành lập lưới dạng lưới mặt bằng hai chiều và lưới độ cao một chiều. Nghiên cứu về khả năng ứng dụng của lưới không gian trong xây dựng công trình chưa nhiều.

3. Với công trình yêu cầu độ chính xác cao, như dạng công trình nhà siêu cao tầng đang xuất hiện ngày càng nhiều, cần phải ứng dụng các công nghệ hiện đại để đảm bảo độ chính xác yêu cầu. Vấn đề xử lý số liệu cho các dạng lưới khống chế phục vụ những công trình này cũng cần được quan tâm, do có những đặc điểm riêng.

4. Do sự phát triển của công nghệ, dạng lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh có khả năng ứng dụng trong một số trường hợp thi công xây dựng công trình. Cần có thêm những công trình nghiên cứu tổng hợp và phân tích tổng thể về xử lý số liệu dạng lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình.

### ***1.3.3. Các hướng nghiên cứu chính trong luận án***

1. Nghiên cứu thuật toán bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh.

2. Lựa chọn hệ quy chiếu và thuật toán phù hợp để xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh phục vụ công tác trắc địa khi thi công xây dựng công trình có chiều cao lớn, yêu cầu độ chính xác cao.

3. Nghiên cứu về khả năng ứng dụng dạng lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh cạnh ngắn trong xây dựng công trình có yêu cầu độ chính xác cao. Xác định các số cải chính trị đo trước bình sai, hiệu chỉnh tọa độ sau bình sai, xây dựng phần mềm xử lý số liệu phù hợp để đảm bảo công tác trắc địa xây dựng công trình có chiều cao lớn, yêu cầu độ chính xác cao và đảm bảo tiến độ thi công.

## Chương 2

### LƯỚI KHÔNG GIAN CẠNH NGẮN TRONG XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH ĐỘ CHÍNH XÁC CAO

**2.1. Khái quát về công tác trắc địa phục vụ xây dựng công trình độ chính xác cao**

**2.2. Yêu cầu độ chính xác của lưới không chế trắc địa công trình**

**2.3. Lưới không gian cạnh ngắn truyền thống trong xây dựng công trình có độ chính xác cao**

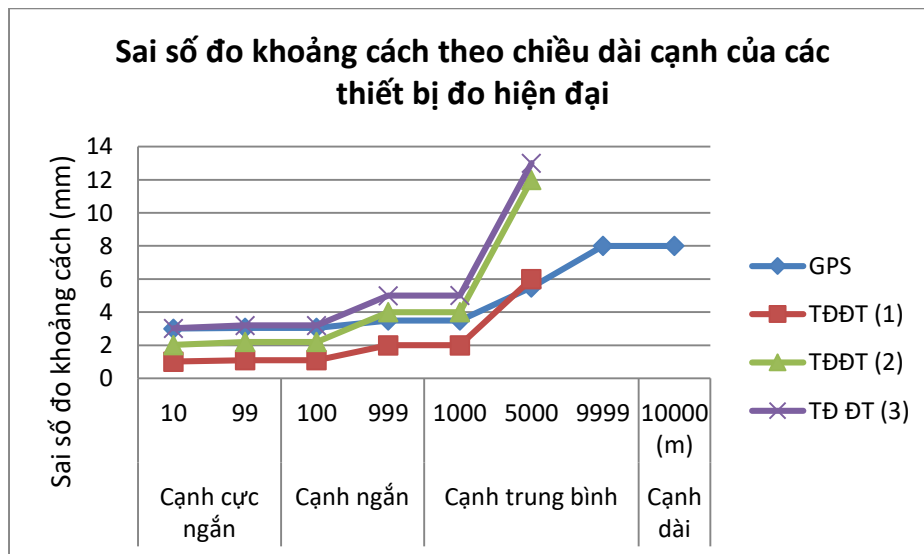
**2.3.1. Phân loại lưới không chế công trình theo chiều dài cạnh**

*Bảng 2.1. Bảng phân loại cạnh đo theo chiều dài*

Phân loại	Cạnh cực ngắn	Cạnh ngắn	Cạnh trung bình	Cạnh dài
Chiều dài	$10^2$ m	$10^3$ m	$10^4$ m	$10^5$ m
	10 ÷ 99 m	100 ÷ 999 m	1000 ÷ 9999 m	>10000 m

Với cách phân loại như trên, lưới không chế trong công trình thường là lưới cạnh ngắn và cực ngắn.

**2.3.2. Lựa chọn thiết bị đo phù hợp theo khoảng cách**



*Hình 2.1. Biểu đồ sai số đo khoảng cách theo chiều dài cạnh của các thiết bị đo hiện đại*

Nên dùng TĐĐT để đo các khoảng cách ngắn và cực ngắn; dùng công nghệ định vị vệ tinh để đo khoảng cách dài, khoảng cách trung bình và kết hợp cùng TĐĐT trong đo khoảng cách ngắn.

**2.3.3. Xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn truyền thống**

Phương trình số hiệu chỉnh đối với khoảng cách nghiêng  $S_{ij}$ :

$$V_{Sij} = -a_{ij}\delta x_i - b_{ij}\delta y_i - c_{ij}\delta z_i + a_{ij}\delta x_j + b_{ij}\delta y_j + c_{ij}\delta z_j + l_{Sij} \quad (2.10)$$

Phương trình số hiệu chỉnh đối với góc ngang (bằng)  $\beta_{jik}$ :

$$V_{\beta_{jik}} = a_{ij}\delta x_j + b_{ij}\delta y_j - a_{ik}\delta x_k - b_{ik}\delta y_k + (a_{ik} - a_{ij})\delta x_{ji} + (b_{ik} - b_{ij})\delta y_i + l_{\beta} \quad (2.11)$$

Phương trình số hiệu chỉnh đối với góc thiên đỉnh  $Z_{ik}$ :

$$v_{Z_{ik}} = A_{ik}\delta x_i + B_{ik}\delta y_i + C_{ik}\delta z_i + A_{ki}\delta x_k + B_{ki}\delta y_k + C_{ki}\delta z_k + l_{Z_{ik}} \quad (2.12)$$

## 2.4. Lưới không gian cạnh ngắn mặt đất - vệ tinh ứng dụng trong xây dựng công trình

Lưới không gian cạnh ngắn mặt đất – vệ tinh phù hợp ứng dụng trong xây dựng công trình có chiều cao lớn, yêu cầu độ chính xác cao như nhà cao tầng, siêu cao tầng hay thủy điện. Trong đó điển hình nhất là ứng dụng trong công tác chuyển trục lên nhà cao tầng, siêu cao tầng.

### Kết luận chương 2

*Trong chương 2 đã đề cập và phân tích khả năng ứng dụng của lưới không gian cạnh ngắn kết hợp đo mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình có chiều cao lớn, yêu cầu độ chính xác cao như: nhà siêu cao tầng, công trình thủy điện. Đã phân loại khoảng cách đo và xác định dụng cụ thích hợp để đo khoảng cách theo phân loại. Với khoảng cách ngắn, cực ngắn nên sử dụng TĐĐT, khoảng cách trung bình và khoảng cách dài nên đo bằng công nghệ định vị vệ tinh.*

## Chương 3

### NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT BÌNH SAI LƯỚI KHÔNG GIAN CẠNH NGẮN KẾT HỢP TRỊ ĐO MẶT ĐẤT - VỆ TINH ỨNG DỤNG TRONG TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH

#### 3.1. Hệ tọa độ và hệ qui chiếu sử dụng để thành lập lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh

##### 3.1.1. Các hệ tọa độ sử dụng trong trắc địa công trình

Hệ tọa độ không gian địa tâm; hệ tọa độ trắc địa; hệ tọa độ địa diện chân trời; hệ tọa độ quốc gia VN 2000; hệ tọa độ quy ước của công trình.

##### 3.1.2. Lựa chọn hệ tọa độ và hệ qui chiếu để thành lập lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh ứng dụng trong trắc địa công trình

Với phạm vi nghiên cứu của luận án, lựa chọn hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời để thực hiện bài toán bình sai lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh. Góc tọa độ chọn là điểm trọng tâm của công trình; độ cao của điểm gốc là độ cao trung bình của khu vực xây dựng hoặc cốt 0,0 của nhà cao tầng.



### 3.2. Thuật toán bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện chân trời với một điểm gốc

#### 3.2.1. Phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện chân trời

Phương trình số hiệu chỉnh khoảng cách nghiêng  $S_{ij}$  có dạng (2.10), góc ngang (bằng)  $\beta_{jik}$  có dạng (2.11), góc thiên đỉnh  $Z_{ik}$  có dạng (2.12). Phương trình số hiệu chỉnh đối với trị đo bằng công nghệ GNSS như sau:

$$v_{\Delta x_{ij}} = -\delta x_i + \delta x_j + l_{\Delta x_{ij}}; \quad v_{\Delta y_{ij}} = -\delta y_i + \delta y_j + l_{\Delta y_{ij}}; \quad v_{\Delta z_{ij}} = -\delta z_i + \delta z_j + l_{\Delta z_{ij}} \quad (3.1)$$

#### 3.2.2. Quy trình bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện chân trời với một điểm gốc

Các bước bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện chân trời phương án cố định một điểm gốc như sau [16]:

*Bước 1:* Tính đổi tọa độ của điểm quy chiếu (gốc) sang tọa độ trắc địa  $B_G, L_G$ .

*Bước 2:* Dựa vào  $B_G, L_G$  thành lập ma trận xoay R

$$R = \begin{bmatrix} -\sin B_G \cos L_G & -\sin L_G & \cos B_G \cos L_G \\ -\sin B_G \sin L_G & \cos L_G & \cos B_G \sin L_G \\ \cos B_G & 0 & \sin B_G \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

*Bước 3:* Tính chuyển gia số tọa độ địa tâm  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  thành n gia số tọa độ địa diện  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ , ma trận hiệp phương sai trong hệ địa tâm  $C_{XYZ}$  thành ma trận hiệp phương sai trong hệ địa diện M dựa vào ma trận xoay R.

*Bước 4:* Kiểm tra sai số khép hình  $f_x, f_y, f_z$ .

*Bước 5:* Bình sai lần thứ nhất chỉ gồm các trị đo GNSS theo phương pháp bình sai gián tiếp lưới vệ tinh thông thường. Kết quả thu được tọa độ sau bình sai lần thứ nhất của các điểm và sai số trung phương đơn vị trọng số  $\mu_{GPS}$ .

*Bước 6:* Bình sai lần thứ hai, kết hợp các trị đo GNSS với các trị đo góc bằng  $\beta$  và cạnh nghiêng S. Coi tọa độ x, y, z đã bình sai lần thứ nhất là tọa độ gần đúng để tính số hạng tự do  $L_i$ . Trọng số của các trị đo GNSS được tính theo công thức:

$$\tilde{P}_{GPS} = \frac{1}{\mu_{GPS}^2} M_{xyz}^{-1} \quad (3.6)$$

*Bước 7:* Tính chuyển tọa độ địa diện chân trời về hệ tọa độ địa diện quy ước.

#### 3.2.3. Tính chuyển tọa độ địa diện chân trời về hệ tọa độ địa diện quy ước

Cần tính chuyển tọa độ các điểm sau bình sai từ hệ tọa độ địa diện chân trời (x, y, z) sang hệ tọa độ địa diện quy ước của công trình (x', y', z').

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x + C_x \\ y + C_y \\ z \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

### 3.3. Bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh theo thuật toán bình sai tự do số khuyết dương

Phạm vi nghiên cứu của luận án là ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng công trình, lưới cố định một điểm gốc bậc lộ một số hạn chế khi đo đạc nhiều chu kỳ. Trong nhiều trường hợp, đặc biệt là với dạng lưới trắc địa công trình được sử dụng trong suốt thời gian dài thi công xây dựng công trình, xử lý theo phương pháp bình sai lưới tự do với số khuyết dương sẽ đánh giá lưới tốt hơn. Do vậy, chúng tôi đã nghiên cứu đề xuất thuật toán bình sai tự do số khuyết dương ( $d = 3$ ) để xử lý số liệu lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình. Để giải được hệ phương trình chuẩn có ma trận  $R$  suy biến, cần bổ sung hệ  $d$  phương trình:

$$C^T X + L_c = 0 \quad (3.19)$$

$R^{-1}$  là ma trận nghịch đảo tổng quát có thể tính theo công thức:

$$R^{-1} = (R + C\bar{P}C^T)^{-1} - T\bar{P}T^T \quad (3.22)$$

trong đó:  $C_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$  với những điểm lấy làm điểm định vị.

$C_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$  với những điểm không lấy làm điểm định vị.

Các bước khác thực hiện như bài toán bình sai lưới có một điểm gốc.

### 3.4. Thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc nghiêng

Với thông số ngày càng hiện đại của các máy TĐĐT hiện nay, sai số đo góc cỡ  $\pm 1''$  hoặc nhỏ hơn, có thể đo thêm các góc thiên đỉnh trong lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh. Đo góc thiên đỉnh bị ảnh hưởng bởi nhiều nguồn sai số hệ thống, chủ yếu là sai số chiết quang. Để nâng cao khả năng sử dụng dạng trị đo này, nhằm tăng tính chặt chẽ cho lưới không gian xây dựng được, chúng tôi đề xuất sử dụng thuật toán phát hiện sai số hệ thống của trị đo góc thiên đỉnh. Xuất phát từ bài toán bình sai điều kiện kèm ẩn số, đưa vào phương trình số hiệu chỉnh của trị đo góc thiên đỉnh một ẩn số mới, là sai số hệ thống của các trị đo góc thiên đỉnh, ký hiệu là  $x$ . Kết quả của bài toán bình sai sẽ xác định được

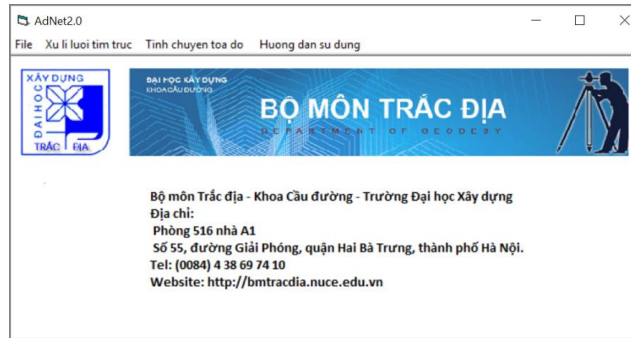
sai số hệ thống  $x$ . Trong phạm vi công trình, coi khoảng cách xấp xỉ như nhau, phương trình số hiệu chỉnh kèm ẩn số  $x$ , là sai số hệ thống với góc thiên đỉnh  $Z_{ik}$ :

$$v_{Z_{ik}} = A_{ik} \delta x_i + B_{ik} \delta y_i + C_{ik} \delta z_i + A_{ki} \delta x_k + B_{ki} \delta y_k + C_{ki} \delta z_k + x + l_{Z_{ik}} \quad (3.25)$$

Nếu xét đến ảnh hưởng của khoảng cách đo tới sai số hệ thống, thay công thức (3.25) bằng công thức (3.26):

$$v_{Z_{ik}} = A_{ik} \delta x_i + B_{ik} \delta y_i + C_{ik} \delta z_i + A_{ki} \delta x_k + B_{ki} \delta y_k + C_{ki} \delta z_k + D_{ik} x_{Z_{ik}} + l_{Z_{ik}} \quad (3.26)$$

### 3.5. Xây dựng phần mềm bình sai lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh

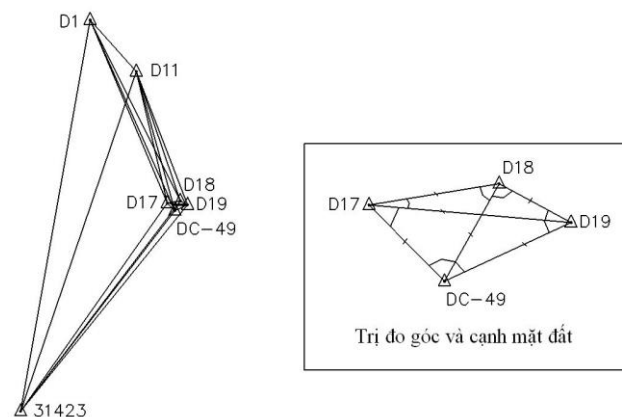


Hình 3.2. Giao diện chương trình AdNet2.0

Chức năng của chương trình nhằm xử lý số liệu lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh, phân tích độ ổn định lưới định vị và tính chuyên tọa độ. Các kết quả tính toán bằng phần mềm AdNet2.0 đã được kiểm chứng đối chiếu với kết quả tính tay, cho kết quả trùng khớp.

### 3.6. Thực nghiệm xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình bằng phần mềm AdNet2.0

#### 3.6.1. Giới thiệu về công trình và lưới thực nghiệm



Hình 3.5. Sơ đồ lưới không chế phục vụ quan trắc chuyển dịch và xác định bồi lấp lòng hồ của thủy điện Nho Quế 3

Nhiệm vụ công tác trắc địa trong giai đoạn này tại thủy điện Nho Quế 3 là quan trắc dịch chuyển ngang và lún để đánh giá độ ổn định công trình, đồng thời xác định bồi lấp lòng hồ. Lưới không chế gồm 7 điểm mốc, nằm trên ba mức độ

cao 1200m, 350m và 300m. Tất cả các điểm được đo bằng công nghệ GPS. Riêng 4 điểm thuộc khu vực tuyến đập D17, D18, D19, DC-49 được đo thêm trị đo mặt đất (8 góc và 6 khoảng cách) bằng máy TĐĐT.

### 3.6.2. Kết quả xử lý lưới không gian mặt đất - vệ tinh

Mạng lưới có chênh lệch độ cao giữa các điểm đáng kể, có kết hợp giữa trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh, tiến hành bình sai không gian lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh phương án bình sai cố định một điểm gốc bằng phần mềm AdNet2.0. Kết quả bình sai cho thấy lưới xây dựng đảm bảo độ chính xác yêu cầu của công việc.

Bảng 3.7. Tham số đặc trưng độ chính xác lưới

Chỉ tiêu	Giá trị
Sai số trọng số đơn vị	0.938
Điểm yếu nhất: D1	0.002 m
Chiều dài cạnh yếu: D18 - D19	1/90900
Phương vị cạnh yếu D18 - D19	$m_{\alpha} = 0.94''$

### Kết luận chương 3

1- Trong chương 3 đã trình bày các bước xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - mặt đất, trong đó đề xuất sử dụng thuật toán bình sai tự do số khuyết dương với lưới không gian mặt đất - vệ tinh để xử lý số liệu lưới không chế thi công công trình. Hệ tọa độ địa diện được sử dụng làm hệ tọa độ trung gian thực hiện bài toán bình sai không gian, sau đó tính chuyển tọa độ các điểm tìm được về hệ tọa độ công trình.

2- Lý thuyết về thuật toán phát hiện giá trị của sai số hệ thống tồn tại trong kết quả đo góc thiên đỉnh được trình bày trong chương 3. Thuật toán được kết hợp trong quá trình xử lý số liệu lưới không gian mặt đất - vệ tinh.

3- Chương trình phần mềm AdNet2.0 đã được xây dựng để phục vụ xử lý số liệu lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh.

## Chương 4

# NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ LƯỚI KHÔNG GIAN CẠNH NGẮN KẾT HỢP TRỊ ĐO MẶT ĐẤT - VỆ TINH ỨNG DỤNG ĐỂ CHUYỂN TRỤC VÀ ĐỘ CAO TRONG THI CÔNG NHÀ SIÊU CAO TẦNG

### 4.1. Ứng dụng lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh để

## chuyển trục lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

### 4.1.1. Công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng

Để chuyển trục lên nhà cao tầng, siêu cao tầng, có thể sử dụng máy chiếu đứng kết hợp phương pháp phân đoạn (mỗi phân đoạn 10 ÷ 15 tầng). Để hạn chế sai số tích lũy, cần đo đạc lại để chính xác hóa lưới khống chế đầu mỗi phân đoạn chiếu với phương pháp phù hợp là đo GNSS kết hợp TĐĐT trên tầng cao.

### 4.1.2. Yêu cầu độ chính xác của lưới khống chế phục vụ công tác chuyển trục trong xây dựng nhà siêu cao tầng

#### 1. Yêu cầu độ chính xác đối với lưới chuyển trục và lưới định vị tại cốt 0,0

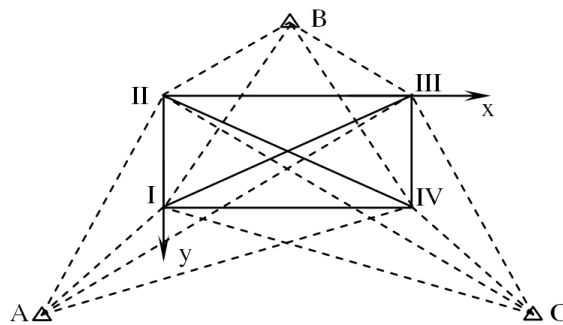
Áp dụng công nghệ GNSS để ghép hai bậc lưới (lưới định vị và lưới chuyển trục) thành một bậc lưới thống nhất. Sai số trung phương lưới một cấp mặt đất - vệ tinh phục vụ chuyển trục lên tầng tại cốt 0,0 cần đạt độ chính xác  $\leq \pm 2$  mm.

#### 2. Yêu cầu độ chính xác đối với lưới khống chế tại tầng đầu tiên của mỗi phân đoạn chiếu

Sai số trung phương lưới khống chế tại tầng đầu tiên của phân đoạn chiếu:

$$m_{kc}^i \leq \pm \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{7} \approx \pm \frac{H_i}{7000} \text{ (mm)} \quad (4.2)$$

### 4.1.3. Quy trình chuyển trục lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng có ứng dụng TĐĐT và GNSS

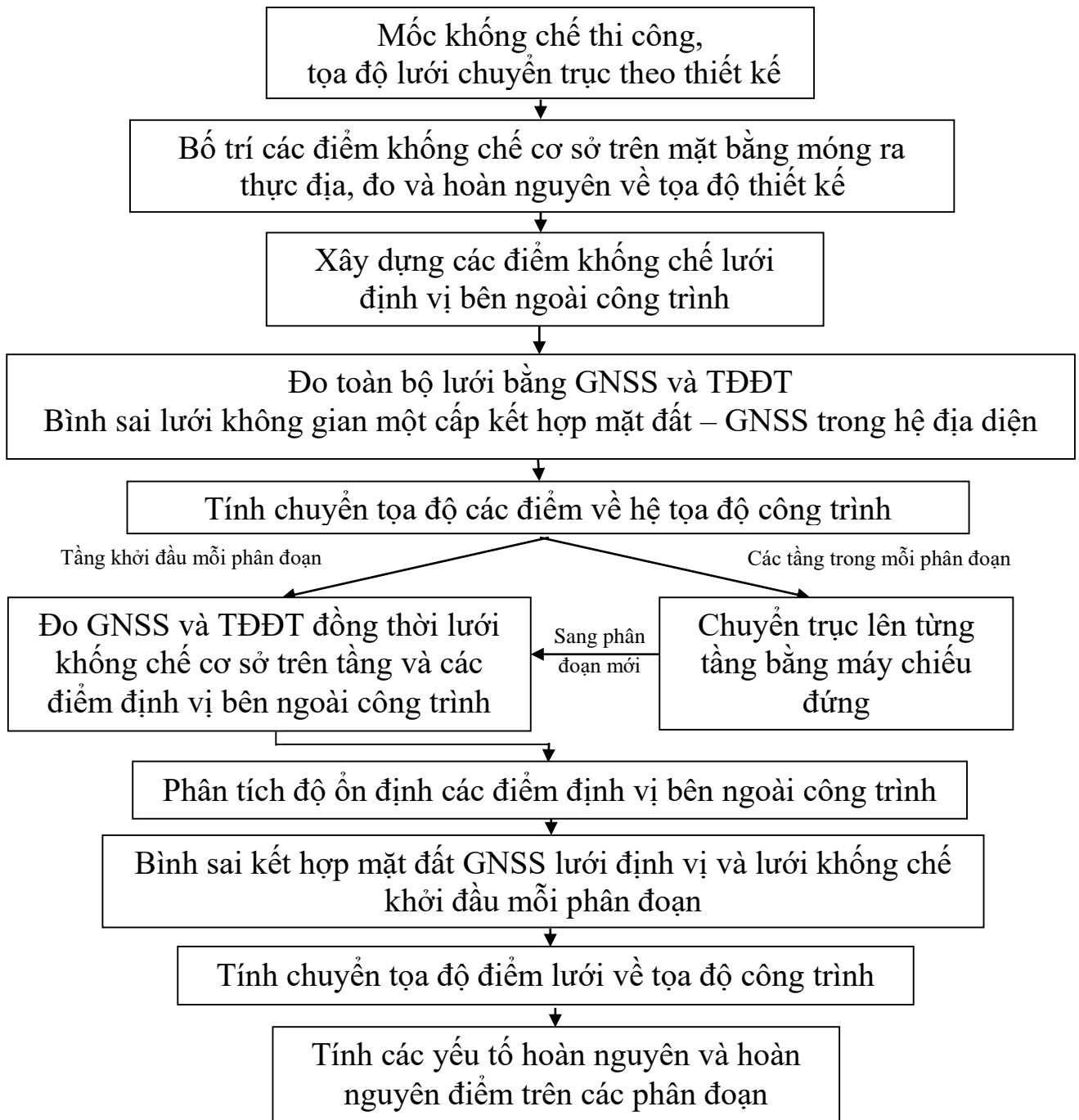


Hình 4.2. Hệ thống lưới khống chế kết hợp mặt đất - vệ tinh trong thi công nhà siêu cao tầng

Lưới khống chế phục vụ công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng bao gồm hai loại lưới: lưới định vị và lưới chuyển trục. Cả hai lưới được kết nối bằng công nghệ GNSS. Lưới chuyển trục được đo thêm các trị đo TĐĐT.

#### 4.1.4. Thiết kế lưới định vị và lưới chuyển trục

Tại cốt 0,0, cần thực hiện ước tính độ chính xác lưới chuyển trục lên tầng là lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh.



Hình 4.3. Sơ đồ các bước chuyển trục lên nhà siêu cao tầng ứng dụng TĐĐT và GNSS

#### 4.1.5. Đo và xử lý kết quả đo lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh ứng dụng để chuyển trục trong xây dựng nhà siêu cao tầng

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.

## 4.2. Hiệu chỉnh các trị đo trong lưới không gian cạnh ngắn trước bình sai

### 4.2.1. Hiệu chỉnh ảnh hưởng của chiều cao máy, gương vào trị đo khoảng cách bằng TĐĐT và trị đo GNSS

Trị đo GNSS đã được hiệu chỉnh chiều cao máy thu tín hiệu vệ tinh. Công thức tính chuyển trị đo khoảng cách TĐĐT về tâm mốc và tâm gương như sau:

$$S_{\text{tinhchuyen}} = \sqrt{S_{\text{do}}^2 + (h_{\text{may}} - h_{\text{gương}})^2 - 2S_{\text{do}}(h_{\text{may}} - h_{\text{gương}})\cos Z} \quad (4.13)$$

### 4.2.2. Hiệu chỉnh góc bằng

Vấn đề tính toán biến dạng góc để cải chính vào góc đo trước khi bình sai kết hợp với trị đo GNSS trong hệ tọa độ địa diện chân trời đã được đề cập trong [16]. Với lưới khống chế trắc địa trên sàn tầng phục vụ chuyển trục lên nhà cao tầng, các điểm nằm trên một mặt thủy chuẩn, số hiệu chỉnh này bằng 0.

### 4.2.3. Hiệu chỉnh góc thiên đỉnh

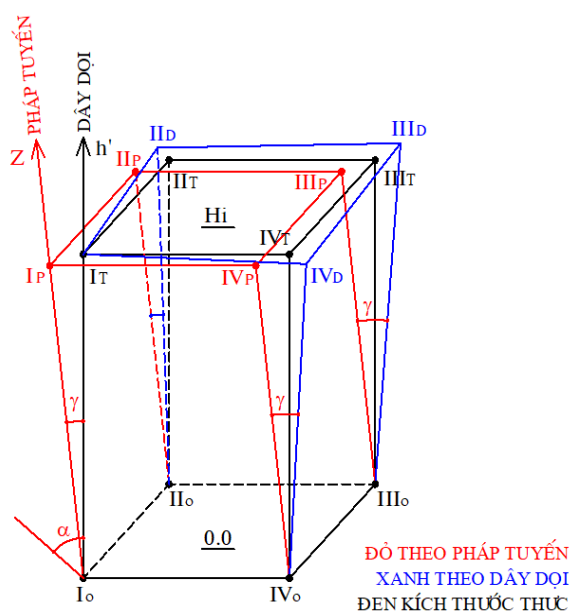
Theo [54], giá trị hiệu chỉnh góc thiên đỉnh đo được về tâm mốc như sau:

$$\delta z = \frac{(h_{\text{may}} - h_{\text{gương}})}{D} \sin^2 Z \quad (4.15)$$

## 4.3. Hiệu chỉnh tọa độ điểm trong lưới không gian cạnh ngắn sau bình sai

Các nội dung sau đây sẽ phân tích các giá trị hiệu chỉnh cần quan tâm khi so sánh tọa độ sau tính toán thuộc lưới khống chế tầng đầu tiên mỗi phân đoạn chiếu với tọa độ của lưới khống chế góc trên mặt bằng móng, trong công tác chuyển trục lên sàn nhà siêu cao tầng.

### 4.3.1. Ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình



Hình 4.6. Ảnh hưởng của độ lệch dây dọi và độ cong trái đất theo chiều cao

Độ lệch tọa độ của một điểm, do ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo chiều cao:

$$f_s = \frac{\gamma''}{\rho''} h_i; \Delta x_j = f_s \cos \alpha; \Delta y_j = f_s \sin \alpha \quad (4.16)$$

*Bảng 4.1. Ảnh hưởng do độ lệch dây dọi lên tọa độ phẳng của điểm theo chiều cao công trình (mm)*

Chiều cao công trình (m) \ Độ lệch dây dọi (")	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
2	0.5	1.0	1.5	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4	4.8
4	1.0	1.9	2.9	3.9	4.8	5.8	6.8	7.8	8.7	9.7
6	1.5	2.9	4.4	5.8	7.3	8.7	10.2	11.6	13.1	14.5
8	1.9	3.9	5.8	7.8	9.7	11.6	13.6	15.5	17.5	19.4
10	2.4	4.8	7.3	9.7	12.1	14.5	17.0	19.4	21.8	24.2
12	2.9	5.8	8.7	11.6	14.5	17.5	20.4	23.3	26.2	29.1
15	3.6	7.3	10.9	14.5	18.2	21.8	25.5	29.1	32.7	36.4

Ảnh hưởng độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình trong xây dựng lưới chuyên trục lên nhà siêu cao tầng bằng phương pháp mặt đất - vệ tinh là đáng kể và cần được hiệu chỉnh, đặc biệt khi công trình cao hơn 100m.

#### **4.3.2. Ảnh hưởng do sự không song song giữa các đường dây dọi đi qua các điểm**

*Bảng 4.2. Ảnh hưởng do độ không song song của đường dây dọi tới khoảng cách  $\Delta S_H$  (mm) theo độ cao mặt chiếu*

$\Delta H$ (m) \ S (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

Do độ không song song giữa các đường dây dọi đi qua điểm đầu và điểm cuối của cạnh, một cạnh bất kì trong lưới trên sàn tầng khi chuyển về mặt bằng góc sẽ có lệch một giá trị  $\Delta S_H$  theo công thức:



$$\Delta S_H = -\frac{\Delta H}{R_m} \cdot S \quad (4.17)$$

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

$$v_{\Delta x} = \Delta S_H \cos \alpha; v_{\Delta y} = \Delta S_H \sin \alpha \quad (4.19)$$

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.

### 4.3.3. Giải pháp xác định độ lệch dây dọi trên khu vực xây dựng nhà cao tầng

Trong phạm vi nhỏ của công trình nhà cao tầng, có thể xác định độ lệch dây dọi với các bước:

*Bước 1:* Số điểm khống chế định vị chọn ít nhất và hợp lý nhất là 3. Đo nối một điểm định vị (kí hiệu là điểm A) với điểm khống chế nhà nước bằng GNSS. Xác định dị thường độ cao tại điểm A theo một trong hai cách: dẫn độ cao hình học hoặc nội suy dị thường độ cao từ mô hình trọng trường EGM-2008 [6].

*Bước 2:* Tiến hành đo GNSS tương đối giữa các điểm khống chế định vị để xác định chênh cao trắc địa, đồng thời đo thủy chuẩn hình học chính xác (thủy chuẩn cấp II). Xác định được dị thường độ cao của các điểm khống chế định vị còn lại.

*Bước 3:* Biểu diễn dị thường độ cao dưới dạng hàm tuyến tính của tọa độ trắc địa B, L. Tìm được  $a_0, a_1, a_2$ .

$$\zeta_i = a_0 + a_1 B_i + a_2 L_i \quad (4.26)$$

*Bước 4:* Tính các độ lệch dây dọi thành phần.

## 4.4. Giải pháp xác định độ cao bằng công nghệ định vị vệ tinh trong lưới không gian cạnh ngắn mặt đất - vệ tinh

### 4.4.1. Yêu cầu độ chính xác chuyển độ cao lên các sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

Theo [49] khi  $h > 30$  m, sai số trung phương khi chuyển độ cao lên sàn có chiều cao  $h$  trong thi công nhà cao tầng  $m_h \geq \pm 5$  mm.

### 4.4.2. Khả năng đáp ứng độ chính xác yêu cầu chuyển độ cao lên sàn xây dựng bằng công nghệ GNSS trong thi công nhà siêu cao tầng

Bảng 4.4. Giá trị sai số chênh cao trắc địa  $m_{\Delta H}$  theo chiều cao điểm chiếu  $h$

h (m)	100	200	300	400	500
$m_{\Delta H}$ (mm)	3.63	3.64	3.67	3.70	3.73

Theo bảng 4.5 về sai số chênh cao trắc địa theo chiều cao điểm chiếu (với khoảng cách ngang từ điểm định vị đến điểm cơ sở trên mặt bằng móng là 300 m) và độ chính xác đo tương đối tĩnh của các máy thu vệ tinh Trimble R7s,

R8s, R9s, R10s, công nghệ GNSS hiện nay có khả năng đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật của công tác này trong thi công nhà cao tầng, đặc biệt là siêu cao tầng.

#### 4.4.3. Thuật toán xác định độ chênh cao thủy chuẩn và độ chính xác tương ứng khi ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

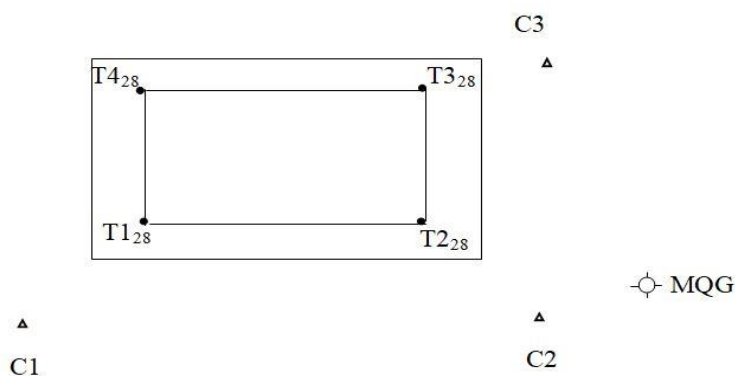
Có thể xác định chênh cao thủy chuẩn giữa điểm I' trên sàn tầng ở lần đo thứ i và điểm I trên mặt bằng móng ở lần đo đầu tiên theo các chênh cao trắc địa giữa điểm I' và điểm I với điểm A và độ lún của điểm I:

$$(h_{I'}^{(i)} - h_I^{(i)}) = (\Delta H_{AI}^{(i)} - \Delta H_{AI}^{(0)}) - s_I^{(i)} \quad (4.42)$$

Giá trị  $m_{s_I} = \pm (1 \div 1.5)$  mm khi quan trắc lún có móng cọc dạng khoan nhồi ảnh hưởng không đáng kể so với những ảnh hưởng còn lại. Với  $m_{\Delta H} = \pm 3.6$  mm (bảng 4.5) tính được  $m_{\Delta h_{i-i'}} = \pm 5.1$  mm. Độ chính xác này đáp ứng được yêu cầu độ chính xác chuyển độ cao lên phần trên của nhà siêu cao tầng, với  $h > 30$  m.

#### 4.5. Thực nghiệm đo đạc và xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh ứng dụng để chuyển trục và độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng

##### 4.5.1. Giới thiệu công trình thực nghiệm và kết quả đo đạc lưới



Hình 4.8. Sơ đồ vị trí mốc lưới chuyển trục tại tầng 28 và lưới định vị

Xây dựng lưới không chế không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh phục vụ công tác chuyển trục lên tòa nhà CT2 cao 28 tầng, thuộc khu nhà ở Quân đội, Thạch Bàn, Hà Nội. Lưới 7 điểm gồm: 4 điểm chuyển trục trên tầng 28 của tòa nhà (kí hiệu T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>); 3 điểm định vị (kí hiệu C1, C2, C3) tại những vị trí ổn định dưới mặt đất. Tiến hành đo cả 7 điểm bằng GPS. Đo 4 điểm T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> bằng máy TĐĐT, đo 8 góc, 6 cạnh. Xử lý số liệu để tìm tọa độ 7 điểm trong một hệ tọa độ thống nhất với lưới cơ sở tại cốt 0,0.

#### 4.5.2. Xử lý số liệu đo thực tế của lưới

Để đánh giá về các phương án xử lý số liệu, lưới thực nghiệm với số liệu đo thực tế được coi là chu kì thứ nhất, xử lý theo những phương án sau:

- *Phương án 1*: Bình sai tự do lưới tứ giác trắc địa  $T_1T_2T_3T_4$  ở trên tầng.
- *Phương án 2*: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh (7 điểm) trong hệ tọa độ địa diện theo phương án cố định một điểm gốc (điểm C2).
- *Phương án 3*: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh (7 điểm) trong hệ tọa độ địa diện theo phương án bình sai tự do số khuyết dương (định vị 3 điểm C1, C2, C3).

*Bảng 4.6. Chiều dài cạnh bình sai lưới tứ giác ở các phương án tính toán (m)*

Cạnh	Bình sai lưới tứ giác (PA1)	Bình sai lưới GPS - TĐĐT cố định 1 điểm gốc (PA2)	Bình sai tự do lưới GPS - TĐĐT (PA3)	Độ lệch giữa các phương án
$T_1 - T_2$	17.158	17.158	17.158	0.000
$T_1 - T_3$	33.853	33.853	33.853	0.000
$T_1 - T_4$	30.653	30.653	30.653	0.000
$T_2 - T_3$	20.069	20.069	20.069	0.000
$T_2 - T_4$	24.817	24.817	24.817	0.000
$T_3 - T_4$	15.535	15.535	15.535	0.000

*Nhận xét*: Tọa độ các điểm và chiều dài cạnh bình sai giữa các phương án tính có kết quả như nhau. Lý do là các phương án có cùng dữ liệu đo và đều không chịu ảnh hưởng của sai số số liệu gốc. Điều này cũng chứng tỏ các trị đo có độ chính xác cao và đồng đều nhau.

#### 4.5.3. Xử lý số liệu lưới giả định điểm C1 bị dịch chuyển

Lấy kết quả bình sai tự do lưới không gian kết hợp mặt đất - GPS (phương án 3) đã tính làm cơ sở, coi đây là kết quả ở chu kì đo thứ nhất. Ở chu kì đo thứ 2, do chưa có dữ liệu đo nên chúng tôi đã giả định dịch chuyển tọa độ địa tâm điểm C1 với các giá trị dịch chuyển:  $\delta X = -7$  mm;  $\delta Y = +1$  mm;  $\delta Z = -3$  mm. Tính lại giá số tọa độ địa tâm thu được các cạnh baseline đo để làm số liệu đo giả định ở chu kỳ 2. Tính được độ lệch tọa độ điểm C1 giữa 2 chu kì trong hệ tọa độ địa diện:  $\delta x = -4$  mm;  $\delta y = +6$  mm;  $\delta z = 0$  mm.

Tiến hành xử lý số liệu đo giả định theo ba phương án:

*Phương án 1: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện theo phương pháp gián tiếp có một điểm gốc là C2 (điểm không bị dịch chuyển)*

*Bảng 4.9. Độ lệch tọa độ các điểm giữa hai chu kỳ 1 và 2 (đơn vị mm)*

Điểm	$\delta x$	$\delta y$	$\delta z$	Lệch giữa 2 chu kỳ (mm)
T <sub>1</sub>	0	0	0	0.0
T <sub>2</sub>	0	0	0	0.0
T <sub>3</sub>	0	0	0	0.0
T <sub>4</sub>	0	0	0	0.0
C1	-1	+6	-4	7.8
C3	0	0	0	0.0
C2	0	0	0	0.0

*Nhận xét:* Chênh lệch tọa độ địa diện của điểm C1 khác với giá trị giả định dịch chuyển ban đầu. Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh cố định một điểm gốc không phát hiện được chính xác dịch chuyển của điểm không chế.

*Phương án 2: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện theo phương pháp bình sai gián tiếp có một điểm gốc là C1 (điểm bị dịch chuyển)*

*Bảng 4.11. Độ lệch tọa độ các điểm giữa hai chu kỳ 1 và 2 (đơn vị mm)*

Điểm	$\delta x$	$\delta y$	$\delta z$	Lệch giữa 2 chu kỳ (mm)
T <sub>1</sub>	0	-5	+4	6.4
T <sub>2</sub>	+1	-5	+4	6.5
T <sub>3</sub>	0	-6	+4	7.2
T <sub>4</sub>	0	-5	+5	7.1
C1	0	0	0	0.0
C3	+2	-5	+2	5.7
C2	+1	-5	+3	5.9

*Nhận xét:* Chênh lệch tọa độ địa diện của điểm C1 khác với giá trị giả định dịch chuyển ban đầu. Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh cố định một điểm gốc không phát hiện được chính xác dịch chuyển của điểm không chế. Đặc biệt khi điểm bị dịch chuyển là điểm được chọn làm gốc thì càng nguy hiểm hơn do kết quả bình sai sẽ cho giá trị sai lệch ở tọa độ tất cả các điểm trong lưới.

*Phương án 3: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện theo phương pháp bình sai tự do số khuyết dương*

Để giải được hệ phương trình chuẩn có ma trận R suy biến, cần tính  $R^{\sim}$  theo

công thức (3.25) với ma trận  $C_i$  chọn như sau:

Trong đó:  $C_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$  với ba điểm lấy làm điểm định vị là C1, C2, C3.

$C_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$  với những điểm không lấy làm điểm định vị .

*Bảng 4.13. Độ lệch tọa độ các điểm giữa hai chu kỳ 1 và 2 (đơn vị mm)*

Điểm	$\delta x$	$\delta y$	$\delta z$	Lệch giữa 2 chu kỳ (mm)
T <sub>1</sub>	0	0	0	0.0
T <sub>2</sub>	0	0	0	0.0
T <sub>3</sub>	0	0	0	0.0
T <sub>4</sub>	0	0	0	0.0
C1	-4	+6	0	7.2
C3	0	0	0	0.0
C2	0	0	0	0.0

*Nhận xét:*

1. Chênh lệch tọa độ điểm C1 đúng bằng giá trị giả định ban đầu. Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh theo thuật toán tự do số khuyết dương phát hiện được chính xác dịch chuyển của điểm không chế.

2. Chênh lệch tọa độ sau bình sai của các điểm còn lại giữa hai chu kỳ bằng 0, do các điểm này không bị dịch chuyển đúng theo giả thiết ban đầu.

#### **4.5.4. Đánh giá về thuật toán bình sai tự do số khuyết dương để xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn mặt đất - vệ tinh trong chuyển trục lên nhà siêu cao tầng**

Kết quả tính toán các phương án trên cũng chứng tỏ rằng việc nghiên cứu thuật toán bình sai tự do đối với lưới không gian mặt đất - vệ tinh cả về phương diện lý thuyết và thực tế đã được thực hiện thành công để xử lý số liệu đo đạc chính xác hóa lưới trục ở đầu mỗi đoạn chiếu trong thi công nhà siêu cao tầng.

#### **4.5.5. Đánh giá khả năng đáp ứng độ chính xác yêu cầu chuyển độ cao lên sàn xây dựng bằng công nghệ GNSS trong thi công nhà siêu cao tầng**

Từ kết quả xử lý số liệu phương án 3 ở mục 4.5.2, sai số trung phương tọa độ z (độ cao địa diện) các điểm của lưới thực nghiệm có giá trị lớn nhất là  $\pm 3$  mm (bảng 4.14). Đồng thời, đo chênh cao lượng giác một chiều trên 3 cạnh

của lưới: C1 - T<sub>1</sub>, C2 - T<sub>1</sub> và C1 - T<sub>4</sub> bằng máy toàn đạc điện tử Leica TC-1201 so sánh với chênh cao trắc địa trong lưới không gian mặt đất - vệ tinh ( $\Delta H_{\text{GPS-MĐ}}$ )

*Bảng 4.14. Tọa độ địa diện và sai số trung phương các điểm sau bình sai (m)*

Điểm	x	m <sub>x</sub>	y	m <sub>y</sub>	z	m <sub>z</sub>
T <sub>1</sub>	2325318.371	0.001	593982.487	0.001	101.235	0.001
T <sub>2</sub>	2325321.594	0.001	593999.340	0.001	101.236	0.003
T <sub>3</sub>	2325339.000	0.001	594009.330	0.001	101.222	0.001
T <sub>4</sub>	2325346.116	0.001	593995.520	0.001	101.215	0.002
C1	2325238.228	0.001	593780.240	0.001	17.469	0.002
C3	2325214.224	0.001	594091.667	0.001	11.554	0.002
C2	2325142.715	0.001	593812.068	0.001	17.571	0.002

*Bảng 4.15. So sánh chênh cao lượng giác và chênh cao trắc địa trong lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh*

STT	Điểm đầu	Điểm cuối	$\Delta h_{\text{TĐĐT}}$ (m)	$\Delta H_{\text{GPS-MĐ}}$ (m)	$\delta_h$ (mm)
1	C1	T <sub>1</sub>	83.761	83.765	+ 4
2	C2	T <sub>1</sub>	83.659	83.663	+ 4
3	C1	T <sub>4</sub>	83.743	83.746	+ 3

*Nhận xét:* Các độ chênh  $\delta_h$  có giá trị nhỏ, phù hợp với lý lịch máy TĐĐT và GPS cũng như kết quả bình sai lưới. Kết quả trên đã khẳng định khả năng ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng.

#### **4.5.6. Thực nghiệm tính toán phát hiện sai số hệ thống trong kết quả đo góc nghiêng của lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh**

##### *a. Thực nghiệm với số liệu đo là trị trung bình từ nhiều lần đo*

Sử dụng sơ đồ lưới và nội dung đo đạc như mục 4.5.1, ngoài ra đo thêm 3 góc nghiêng. Các góc nghiêng này được đo nhiều lần, tại nhiều thời điểm khác nhau trong ngày, lấy giá trị trung bình. Với các khoảng cách tương đối đồng đều nên áp dụng phương trình số hiệu chỉnh cho góc thiên đỉnh như công thức (3.25). Kết quả tính phát hiện được ần số  $x = -0.5''$ .

Lấy số liệu mô hình và tính toán với 9 phương án (bảng 4.17). Giá trị sai số hệ thống  $x$  tìm được sai lệch  $\leq \pm 0.5''$  so với giá trị giả định. Chứng minh được tính đúng đắn của thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc nghiêng kết hợp trong quá trình xử lý số liệu lưới không gian mặt đất - vệ tinh.

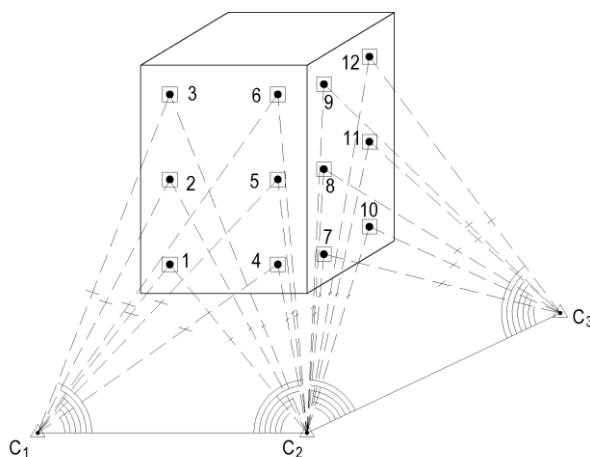
Bảng 4.17. Kết quả tính sai số hệ thống của góc nghiêng

STT	Phương án	Sai số hệ thống giả thiết	Sai số ngẫu nhiên giả thiết	Kết quả sai số hệ thống (x) tìm được
1	SL ban đầu	0	0	$x = -0.5''$
2	Phương án 1	$+1''$	0	$x = +0.5''$
3	Phương án 2	$-2''$	0	$x = -2.5''$
4	Phương án 3	$+3''$	0	$x = +2.8''$
5	Phương án 4	$-6''$	0	$x = -6.2''$
6	Phương án 5	$+8''$	0	$x = +7.5''$
7	Phương án 6	$+12''$	0	$x = +11.5''$
8	Phương án 7	$-2''$	$\pm 1''$	$x = -2.2''$
9	Phương án 8	$-3''$	$\pm 3''$	$x = -3.7''$
10	Phương án 9	$+8''$	$\pm 2''$	$x = +7.4''$

b. Thực nghiệm với số liệu đo tại các thời điểm khác nhau trong ngày

Với số liệu đo 08h 30' sáng, phát hiện được sai số hệ thống của đo góc nghiêng không đáng kể với giá trị  $x = -0.31''$ . Kết quả tính với góc nghiêng đo vào buổi trưa 11h 45' và buổi chiều 14h 45' có sai số hệ thống của góc nghiêng sai lệch đáng kể lần lượt là  $x = -4.40''$  và  $x = -2.97''$ . Vậy, khi đi đo góc nghiêng nên chọn thời gian đo thích hợp để tránh sai số chiết quang.

**4.5.7. Thực nghiệm xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong đo nghiêng nhà cao tầng**



Hình 4.9. Sơ đồ lưới thực nghiệm không gian cạnh ngắn trong đo nghiêng nhà cao tầng

Cùng địa điểm với thực nghiệm đã giới thiệu ở mục 4.5.1, tiến hành đo xác định độ nghiêng công trình, kết hợp TĐĐT và GPS. Lưới khống chế cơ sở gồm 3 điểm: C1, C2, C3 đã được xây dựng từ thực nghiệm chuyển trực lên tầng. Các điểm đo nghiêng gồm 12 điểm gắn trên 2 mặt công trình. Tại mỗi một điểm quan trắc đo khoảng cách, góc bằng, góc đứng, đo nhiều lần, lấy giá trị trung bình. Bình sai một cấp lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất vệ tinh, thu được tọa độ các điểm và xác định độ nghiêng.

*Bảng 4.23. Kết quả xác định độ nghiêng của các trục*

Đường thẳng	$e_x$ (m)	$e_y$ (m)	$e$ (m)	Độ cao	Góc nghiêng
1-2	0.025	-0.05	0.026	34.931	0°02'33''
1-3	0.044	-0.028	0.052	66.934	0°02'40''
4-5	0.009	-0.012	0.015	38.366	0°01'21''
4-6	0.010	-0.027	0.029	70.387	0°01'25''
7-8	0.000	-0.015	0.015	38.395	0°01'21''
7-9	-0.020	-0.021	0.021	71.057	0°01'01''
10-11	0.015	0.032	0.035	38.380	0°03'08''
10-12	0.008	0.014	0.016	70.396	0°00'47''

*Nhận xét:* Với đặc trưng vị trí các điểm đo nghiêng là không thể đặt máy đo hoặc gương thông thường, để đo được độ nghiêng của công trình, cần xây dựng hệ thống lưới cơ sở bằng GPS và đo đạc tới các điểm bằng máy TĐĐT không gương có độ chính xác cao. Tiến hành bình sai toàn bộ lưới không gian cạnh ngắn hỗn hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong cùng một cấp để đạt độ chính xác tốt hơn.

#### **Kết luận chương 4**

1. Để chính xác hóa lưới trục ở đầu mỗi đoạn chiếu trong công tác chuyển trực lên nhà cao tầng, cần kết hợp trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh. Trong chương 4 đã trình bày qui trình công tác chuyển trực lên nhà cao tầng ứng dụng TĐĐT và công nghệ GNSS. Phương án hợp lý để xử lý số liệu là bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh theo thuật toán bình sai tự do.

2. Giữa hệ tọa độ địa diện và hệ tọa độ phẳng công trình khác nhau về hệ quy chiếu. Theo chiều cao của công trình, sự khác nhau này sẽ ảnh hưởng tới việc chuyển tọa độ lên các tầng thi công. Cần hiệu chỉnh vào tọa độ công trình  $x'$ ,  $y'$  trên các phân đoạn các ảnh hưởng của độ lệch dây dọi, ảnh hưởng đo độ



*không song song của các đường dây dọi theo chiều cao công trình, để đảm bảo trục công trình luôn thẳng đứng theo phương đường dây dọi.*

*3. Có thể ứng dụng công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng. Ưu điểm của phương pháp là độ chính xác xác định chênh cao giữa điểm trên sàn tầng và điểm mặt bằng móng hầu như không phụ thuộc vào chiều cao điểm chiếu.*

*4. Nội dung đo đạc và tính toán thực nghiệm nhằm khẳng định lại tính đúng đắn của các nghiên cứu lý thuyết: Khả năng áp dụng lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong chuyển trục 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; Thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc nghiêng của lưới không gian mặt đất - vệ tinh cho kết quả đúng như đã giả định; 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.*

## **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

### **KẾT LUẬN**

Từ những nghiên cứu, khảo sát và phân tích về lý thuyết và các thực nghiệm của công tác tính toán xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình, có thể rút ra một số kết luận sau:

1. Trong một số trường hợp, nên ứng dụng lưới không gian cạnh ngắn kết hợp đo mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình độ chính xác cao như: thi công xây dựng nhà siêu cao tầng, thi công công trình thủy điện, đặc biệt là trong công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng.

2. Khi xử lý số liệu đo đạc để chính xác hóa lưới trục ở đầu mỗi đoạn chiếu trong thi công nhà siêu cao tầng, nên ứng dụng phương pháp bình sai tự do số khuyết dương lưới không gian gồm các trị đo GNSS và TĐĐT với ít nhất ba điểm định vị.

3. Để đảm bảo độ chính xác cho công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng, cần phải cải chính các trị đo trước bình sai và hiệu chỉnh tọa độ điểm sau bình sai, trong đó cần lưu ý các số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của độ lệch dây dọi và độ không song song của các đường dây dọi theo chiều cao công trình, để đảm bảo trục công trình luôn thẳng đứng.

4. Có thể ứng dụng công nghệ định vị vệ tinh để chuyên độ cao lên tầng cao trong xây dựng nhà cao tầng. Giải pháp này đảm bảo được độ chính xác và có hiệu quả cao khi kết hợp cùng công tác chuyên trực lên sàn tầng ứng dụng TĐĐT và GNSS.

5. Thuật toán phát hiện sai số hệ thống tồn tại trong kết quả đo góc nghiêng được kết hợp trong quá trình xử lý số liệu lưới không gian mặt đất - vệ tinh cho kết quả phù hợp và có thể ứng dụng trong thực tế để kết quả sau bình sai được tốt hơn. Khi đo góc nghiêng trong ngày cần chọn thời điểm đo thích hợp để tránh ảnh hưởng của sai số hệ thống mà chủ yếu là do chiết quang.

6. Phần mềm AdNet2.0 đã được xây dựng hoàn toàn có thể đáp ứng yêu cầu xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh.

### **KIẾN NGHỊ**

Sau quá trình nghiên cứu lý thuyết, tham gia thực tế sản xuất và thực hiện luận án, chúng tôi có một số kiến nghị như sau:

1. Cần tiếp tục nghiên cứu khai thác hiệu quả các chủng loại thiết bị, công nghệ đo đạc hiện đại để đo liên tục, nhằm nâng cao hiệu quả chuyên trực lên nhà siêu cao tầng. Đặc biệt nghiên cứu ảnh hưởng rung lắc của công trình do có liên quan đến kết quả đo đạc trên các tầng có chênh cao lớn.

2. Nên áp dụng pháp bình sai tự do số khuyết dương khi xử lý số liệu lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình.

3. Cần sớm đưa ra “Tiêu chuẩn công tác trắc địa xây dựng nhà siêu cao tầng” để làm cơ sở thực hiện ngoài sản xuất, khi dạng công trình này đang xây dựng ngày càng nhiều và cần nghiên cứu làm rõ thêm một số nội dung cần thiết.

**DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ  
ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN NỘI DUNG LUẬN ÁN**

1. Vũ Thái Hà, (2015) “ Độ chính xác lưới không chế trắc địa mặt bằng trong công trình xây dựng chuyên dụng”, *Hội nghị Khoa học cán bộ trẻ lần thứ XIII - 2015 của Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng*, tr.262-266.
2. Prof. PhD. Hoang Ngoc Ha, MS. Vu Thai Ha, (2016) “ Adjustment of combined spatial terrestrial - GPS measurement networks in the construction of super high-rise buildings”, *International symposium on geo-spatial and mobile mapping technologies 2016 - Hanoi University of Mining and Geology* , p.41-45.
3. Vũ Thái Hà (2016), Nghiên cứu ứng dụng đo liên tục khi chuyển trục lên nhà siêu cao tầng có xét đến ảnh hưởng dao động của công trình”, *Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường trọng điểm*, mã số 111 - 2015/KHXD, Trường Đại học Xây dựng.
4. Vũ Thái Hà, Bùi Duy Quỳnh (2016), “Thống nhất toạ độ trong công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng”, *Tạp chí khoa học công nghệ Xây dựng*, số 30 (08/2016), tr.84-89.
5. Nguyễn Quang Thắng, Vũ Thái Hà, Diêm Công Trang (2017), “Solution for reduction of effects of some factors on accuracy of staking out axis to working platforms in construction of skyscraper”, *The International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources in Hanoi, Vietnam, October 2017*, tr.67 - 73.
6. 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.
7. Nguyễn Quang Thắng, Vũ Thái Hà, Diêm Công Trang (2019), “Giải pháp chuyển độ cao lên sàn xây dựng bằng công nghệ GNSS trong thi công nhà siêu cao tầng”, *Tạp chí KH-CN Xây dựng*, số 3/2019, tr. 59 - 65.
8. Hoàng Ngọc Hà, Vũ Thái Hà (2020), “ Nghiên cứu thuật toán phát hiện sai số hệ thống do chiết quang trong đo góc đứng của lưới không gian công trình kết hợp mặt đất - vệ tinh”, *Tạp chí Khoa học đo đạc và bản đồ*, số 12/2019, tr.26-31.
9. PGS. TS. Nguyễn Quang Thắng, NCS. Vũ Thái Hà, TS. Diêm Công Huy (2020), “Xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo vệ tinh - mặt đất trong hệ toạ độ vuông góc không gian quy ước ứng dụng khi xây dựng công trình”, *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng*, số 1/2020, tr.53-59.