

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**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2020

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**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGÀNH : KỸ THUẬT TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ

MÃ SỐ : 9520503

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

1. GS. TSKH HOÀNG NGỌC HÀ

2. PGS.TS NGUYỄN QUANG THẮNG

HÀ NỘI - 2020

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất cứ một công trình nào khác.

Tác giả luận án

Vũ Thái Hà

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
MỤC LỤC	ii
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	v
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	vii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	viii
MỞ ĐẦU	1
Chương 1. TỔNG QUAN VỀ LƯỚI KHỔNG CHẾ TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU LƯỚI TRẮC ĐỊA KẾT HỢP TRỊ ĐO MẶT ĐẤT - VỆ TINH	7
1.1. Tổng quan về lưới khống chế trắc địa công trình	7
1.2. Tổng quan về xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh	9
1.3. Đánh giá chung về tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước, hướng nghiên cứu của luận án.....	18
Chương 2. LƯỚI KHÔNG GIAN CẠNH NGẮN TRONG XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH ĐỘ CHÍNH XÁC CAO	20
2.1. Khái quát về công tác trắc địa phục vụ xây dựng công trình độ chính xác cao	20
2.2. Yêu cầu độ chính xác của lưới khống chế trắc địa công trình	21
2.3. Lưới không gian cạnh ngắn truyền thống trong xây dựng công trình có độ chính xác cao.....	23
2.4. Lưới không gian cạnh ngắn mặt đất - vệ tinh ứng dụng trong xây dựng công trình	28
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.....	31
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.....	31

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	33
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.....	38
3.4. Thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc nghiêng.....	40
3.5. Xây dựng phần mềm bình sai lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh.....	43
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	47
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 TRỰC VÀ ĐỘ CAO TRONG THI CÔNG NHÀ SIÊU CAO TẦNG	53
4.1. Ứng dụng lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh để chuyển trực lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng	53
4.2. Hiệu chỉnh các trị đo trong lưới không gian cạnh ngắn trước bình sai.....	62
4.3. Hiệu chỉnh tọa độ điểm trong lưới không gian cạnh ngắn sau bình sai.....	65
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	72
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 trực và độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng	77
4.5.1. Giới thiệu công trình thực nghiệm và kết quả đo đạc lưới.....	78
4.5.2. Xử lý số liệu đo thực tế của lưới.....	79
4.5.3. Xử lý số liệu lưới giả định điểm C1 bị dịch chuyển.....	81
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 trực lên nhà siêu cao tầng	87

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.....	88
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.....	90
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.....	94
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	100
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN NỘI DUNG LUẬN ÁN.....	102
TÀI LIỆU THAM KHẢO	104
PHỤ LỤC 1	111
PHỤ LỤC 2	117
PHỤ LỤC 3	123
PHỤ LỤC 4	128

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1. Bảng phân loại cạnh đo theo chiều dài	24
Bảng 2.2. Thông số của các máy TĐĐT và GNSS sử dụng để khảo sát độ chính xác đo khoảng cách	24
Bảng 3.1. Thông số của mạng lưới	49
Bảng 3.2. Tọa độ điểm khởi tính.....	49
Bảng 3.3. Kết quả đo góc	49
Bảng 3.4. Kết quả đo cạnh	49
Bảng 3.5. Kết quả đo GPS	50
Bảng 3.6. Kết quả tọa độ bình sai trong hệ địa diện	51
Bảng 3.7. Tham số đặc trưng độ chính xác lưới	51
Bảng 4.1. Ảnh hưởng do độ lệch dây dọi lên tọa độ phẳng của điểm theo chiều cao công trình (mm)	66
Bảng 4.2. Ảnh hưởng do độ không song song của đường dây dọi tới khoảng cách ΔS_H (mm) theo độ cao mặt chiếu.....	68
Bảng 4.3. Sai số khi chuyển độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà cao tầng.....	72
Bảng 4.4. Giá trị sai số chênh cao trắc địa $m_{\Delta H}$ theo chiều cao điểm chiếu h	73
Bảng 4.5. Các thông số của mạng lưới	79
Bảng 4.6. Chiều dài cạnh bình sai lưới tứ giác ở các phương án tính toán (m)	80
Bảng 4.7. Tọa độ điểm bình sai của lưới tứ giác ở các phương án tính toán (đơn vị m)	81
Bảng 4.8. Tọa độ các điểm sau bình sai ở hai chu kỳ 1 và 2	83
Bảng 4.9. Độ lệch tọa độ các điểm giữa hai chu kỳ 1 và 2 (đơn vị mm).....	83

Bảng 4.10. Tọa độ các điểm sau bình sai ở hai chu kỳ 1 và 2	84
Bảng 4.11. Độ lệch tọa độ các điểm giữa hai chu kỳ 1 và 2 (đơn vị mm).....	84
Bảng 4.12. Tọa độ các điểm sau bình sai ở hai chu kỳ 1 và 2	86
Bảng 4.13. Độ lệch tọa độ các điểm giữa hai chu kỳ 1 và 2 (đơn vị mm).....	86
Bảng 4.14. Tọa độ địa diện và sai số trung phương các điểm sau bình sai (đơn vị m)	89
Bảng 4.15. So sánh chênh cao lượng giác và chênh cao trắc địa trong lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh	89
Bảng 4.16. Kết quả đo góc nghiêng trung bình bằng TĐĐT	91
Bảng 4.17. Kết quả tính sai số hệ thống của góc nghiêng	92
Bảng 4.18. Kết quả đo góc nghiêng tại ba thời điểm trong ngày	93
Bảng 4.19. Kết quả đo các điểm đo nghiêng trạm máy C1 định hướng C2 ...	96
Bảng 4.20. Kết quả đo các điểm đo nghiêng trạm máy C2 định hướng C1 ...	96
Bảng 4.21. Kết quả đo các điểm đo nghiêng trạm máy C3 định hướng C1 ...	97
Bảng 4.22. Tọa độ và độ cao của các điểm đo nghiêng.....	97
Bảng 4.23. Kết quả xác định độ nghiêng của các trục	98

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 2.1. Biểu đồ sai số đo khoảng cách theo chiều dài cạnh của các thiết bị đo hiện đại	25
Hình 3.1. Một số hệ tọa độ không gian ba chiều thường dùng.....	31
Hình 3.2. Giao diện chương trình AdNet2.0.....	43
Hình 3.3. Giao diện “Xử lý số liệu lưới” của chương trình AdNet2.0	44
Hình 3.4. Giao diện “Tính chuyển tọa độ” của chương trình AdNet2.0	44
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.....	48
Hình 4.1. Tòa nhà Keangnam Hà Nội và Landmark 81 Hồ Chí Minh.....	53
Hình 4.2. Hệ thống lưới không chế kết hợp mặt đất - vệ tinh trong thi công nhà siêu cao tầng	57
Hình 4.3. Sơ đồ các bước chuyển trực lên nhà siêu cao tầng ứng dụng	58
TĐĐT và GNSS	58
Hình 4.4. Hiệu chỉnh khoảng cách nghiêng	63
Hình 4.5. Hiệu chỉnh góc thiên đỉnh	64
Hình 4.6. Ảnh hưởng của độ lệch dây dọi và độ cong trái đất theo chiều cao.....	65
Hình 4.7. Biểu đồ ảnh độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình	67
Hình 4.8. Sơ đồ vị trí mốc lưới chuyển trực tại tầng 28 và lưới định vị.....	79
Hình 4.9. Sơ đồ lưới thực nghiệm không gian cạnh ngắn trong đo nghiêng nhà cao tầng	95

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

STT	Chữ viết tắt	Ý nghĩa
1	GPS	Global Positioning System
2	GNSS	Global Navigation Satellite System
3	GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
4	IGS	International GNSS Service
5	TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
6	TCXDVN	Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam
7	TĐĐT	Toàn đạc điện tử (Total Station)

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

GNSS (Global Navigation Satellite System) là tên gọi dùng chung cho các hệ thống định vị toàn cầu sử dụng vệ tinh như GPS (Hoa Kỳ), Galileo (Châu Âu), GLONASS (Nga), BeiDou (Trung Quốc) và nhiều hệ thống khác đang được triển khai tại các quốc gia phát triển trên thế giới. Đối với nước ta hiện nay, hệ thống định vị vệ tinh được ứng dụng rộng rãi nhất trong tất cả các lĩnh vực vẫn là GPS. Nhờ những ưu điểm so với công nghệ đo đạc truyền thống và sự phổ biến, đa dạng của thiết bị, công nghệ GNSS đang được áp dụng cho hầu hết các công tác trắc địa.

Lưới không gian trước đây được xây dựng bằng công nghệ đo đạc truyền thống bao gồm các trị đo cạnh nghiêng, góc ngang và góc thiên đỉnh. Ngày nay, xây dựng lưới không gian có thể kết hợp thêm công nghệ định vị vệ tinh với trị đo nhận được là các baseline. Baseline có thể coi là một dạng của trị đo cạnh nghiêng nhưng nằm trong hệ tọa độ địa tâm. Khi đưa trị đo vệ tinh vào lưới không gian, cần lưu ý đến vấn đề tính chuyển để thống nhất về hệ tọa độ giữa các kết quả đo trước khi đưa vào một bài toán bình sai chung. Với sự phát triển của thiết bị máy móc, công nghệ hiện đại dẫn đến độ chính xác đo đạc ngày càng cao, dạng lưới không gian có khả năng áp dụng trong lĩnh vực xây dựng công trình hơn trước đây. Mỗi dạng trị đo mặt đất hay vệ tinh đều có ưu, nhược điểm riêng. Trong một số trường hợp thi công xây dựng công trình, cần áp dụng cả hai loại trị đo mặt đất và vệ tinh để xây dựng lưới nhằm tăng tính khả thi cũng như độ chính xác của lưới cần thành lập. Khoảng cách giữa các điểm trong lưới khống chế thi công công trình thường ngắn nên nếu áp dụng trong xây dựng công trình có thể gọi là lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh.

Trước đây, đã có một số các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan tới thuật toán xử lý cũng như khả năng ứng dụng của lưới mặt bằng kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh [8], [12], [16], [51], [52]... Những năm gần đây, một số nhà khoa học đã công bố các thuật toán để xử lý lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ

ting như [3], [36], [42]...Tuy nhiên chưa có tài liệu nào phân tích về khả năng ứng dụng của dạng lưới không gian kết hợp mặt đất – vệ tinh trong xây dựng công trình . Cũng như trong trường hợp này thì các thuật toán xử lý lưới không gian mặt đất – vệ tinh đã có ưu điểm và nhược điểm gì cần khắc phục, phát triển.

Ngày nay, nhiều dạng công trình xây dựng có kích thước, chiều cao lớn, yêu cầu độ chính xác cao đang được triển khai rộng rãi ở nước ta. Đây là những dạng công trình có thể áp dụng dạng lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất – vệ tinh. Để đảm bảo độ chính xác lưới không chế trắc địa phục vụ xây dựng công trình độ chính xác cao nên áp dụng những công nghệ, thiết bị hiện đại nhất. Có thể kể đến như công nghệ GNSS, các máy TĐĐT thế hệ mới, các thuật toán và phần mềm tính toán cho phép xử lý các bài toán phức tạp trong thời gian ngắn. Vậy, việc nghiên cứu lý thuyết bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh có ý nghĩa trong giai đoạn hiện nay. Các phân tích trên đã cho thấy rõ tính cấp thiết của đề tài “**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**” đã lựa chọn.

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

- Mục đích nghiên cứu của luận án: 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: lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh.

- Phạm vi nghiên cứu của luận án: trong lĩnh vực xây dựng công trình có chiều cao lớn.

3. Nội dung nghiên cứu

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

b. 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.

c. 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 chiều cao lớn, có yêu cầu độ chính xác cao.

4. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp thông kê: Tìm kiếm tài liệu, cập nhật các thông tin liên quan từ các thư viện và qua mạng internet.

- Phương pháp phân tích: nghiên cứu lý thuyết, sử dụng các phương tiện, tiện ích để phân tích các tư liệu, số liệu làm cơ sở để giải quyết các vấn đề đặt ra.

- Phương pháp thực nghiệm: Tiến hành các thực nghiệm với những công trình thực tế để chứng minh lý thuyết, khẳng định tính đúng đắn, khả thi và đi đến kết luận.

- Phương pháp so sánh: Tổng hợp kết quả, so sánh đánh giá và đưa ra kết luận về các vấn đề xử lý số liệu lưới không gian hỗn hợp mặt đất vệ tinh ứng dụng trong công trình.

- Phương pháp toán học: Tập hợp các quy luật, định lý toán học để chứng minh các công thức phục vụ cho việc tính toán và lập chương trình máy tính.

- Phương pháp ứng dụng tin học: Xây dựng thuật toán xử lý số liệu và lập chương trình tính toán trên máy tính.

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

Ý nghĩa khoa học: 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, hỗ trợ công tác giảng dạy và nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực trắc địa công trình.

Ý nghĩa thực tiễn: Các kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng để xử lý số liệu lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh nhằm phục vụ thi công xây dựng các công trình có chiều cao lớn ở 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 không 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 toạ 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

- a. 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.
- b. 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.
- c. Đề xuất phương pháp xác định các giá trị cải chính trị đo trước bình sai và hiệu chỉnh toạ 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:

Phần mở đầu: Giới thiệu tổng quan về luận án, tính cấp thiết, mục đích, ý nghĩa và tình hình nghiên cứu trong nước và ngoài nước về những vấn đề liên quan đến nội

dung của luận án. Từ đó hình thành phương pháp, nội dung nghiên cứu, đồng thời đưa ra các luận điểm bảo vệ và điểm mới của luận án.

Phần nội dung nghiên cứu chính của luận án được trình bày trong 4 chương:

Chương 1: Tổng quan về lưới không chế trắc địa công trình và xử lý số liệu lưới trắc địa kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh.

Chương 2: Lưới không gian cạnh ngắn trong xây dựng công trình độ chính xác cao.

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.

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.

Phần kết luận và kiến nghị: Tổng hợp lại các vấn đề nghiên cứu trong luận án, đưa ra kết luận về công tác xử lý số liệu lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh, ứng dụng dạng lưới này trong xây dựng công trình, đặc biệt là công trình nhà siêu cao tầng. Từ các kết quả nghiên cứu đạt được, đưa ra các kiến nghị cần quan tâm giải quyết có nội dung liên quan đến đề tài.

9. Lời cảm ơn

Trước hết, nghiên cứu sinh xin được bày tỏ lòng biết ơn chân thành và sâu sắc đến người hướng dẫn khoa học GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà và PGS.TS Nguyễn Quang Thắng đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ và cho nhiều chỉ dẫn khoa học có giá trị giúp nghiên cứu sinh hoàn thành các nội dung của luận án.

Nghiên cứu sinh xin cảm ơn các thầy, cô trong Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai Trường Đại học Mở - Địa chất, các đồng nghiệp trong ngành Trắc địa và đặc biệt là các thầy, cô trong Bộ môn Trắc địa công trình đã giúp đỡ và có những ý kiến đóng góp quý báu cho tác giả hoàn thiện nội dung của luận án.

Nghiên cứu sinh chân thành cảm ơn các anh, chị đồng nghiệp trong bộ môn Trắc địa - Trường Đại học Xây dựng đã hỗ trợ thực hiện các thực nghiệm, động viên và đóng góp trong suốt quá trình thực hiện luận án. Xin chân thành cảm ơn Khoa Cầu đường - Trường Đại học Xây dựng, nơi nghiên cứu sinh công tác, đã tạo điều kiện cho nghiên cứu sinh được học tập nâng cao trình độ.

Nghiên cứu sinh xin chân thành cảm ơn tất cả những sự giúp đỡ quý báu đó.

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ LƯỚI KHÔNG 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 không chế trắc địa công trình

1.1.1. Đặc điểm về lưới không chế trắc địa công trình

Lưới không chế trắc địa công trình là một dạng lưới trắc địa chuyên dùng, được thành lập và sử dụng trong giai đoạn khảo sát thiết kế và thi công xây dựng công trình. Do tính chất đa dạng của các công trình xây dựng mà lưới không chế thi công cũng rất đa dạng. Tùy thuộc vào tính chất của từng công trình, điều kiện địa hình, điều kiện thi công mà mạng lưới trắc địa công trình được xây dựng một cách linh hoạt, nhằm đáp ứng yêu cầu trong quá trình thi công. Vì vậy, lưới thi công được thành lập theo các nguyên tắc sau đây:

- Lưới thi công là mạng lưới độc lập, cục bộ để tránh ảnh hưởng sai số số liệu gốc, tọa độ quốc gia chỉ dùng để khởi tính.

- Tất cả các bậc lưới thi công cần phải tính tọa độ, độ cao trong một hệ thống nhất đã được lựa chọn trong giai đoạn khảo sát và thiết kế công trình.

- Trong một số trường hợp lưới thi công được thiết kế tối ưu độ chính xác theo hướng định trước phù hợp với yêu cầu kỹ thuật của công trình.

Những nguyên tắc trên đảm bảo cho lưới thi công không bị biến dạng do ảnh hưởng của sai số số liệu gốc, đồng thời lưới được định vị trong cùng một hệ tọa độ.

1.1.2. Các phương pháp xây dựng lưới không chế trắc địa công trình

Tùy thuộc vào từng dạng công trình mà lưới không chế thi công được thành lập theo các phương pháp khác nhau. Lưới không chế thi công công trình có thể được thành lập bằng công nghệ đo đạc mặt đất (sử dụng máy kinh vĩ, máy toàn đạc điện

tử) hoặc công nghệ đo đạc vệ tinh (sử dụng các máy thu tín hiệu vệ tinh) hoặc kết hợp cả trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh.

1. Các phương pháp truyền thống

Đây là phương pháp sử dụng các thiết bị đo ngắm trực tiếp trên mặt đất, lưới được thành lập chủ yếu dưới dạng: lưới tam giác đo góc, đo cạnh hoặc đo góc - cạnh. Phương pháp lập lưới tam giác đo góc chỉ thường được áp dụng trong những năm trước đây khi điều kiện đo khoảng cách còn hạn chế, hiện nay hầu như không còn được sử dụng do sự phát triển của máy đo khoảng cách hiện đại. Phương pháp lập lưới tam giác đo cạnh có ưu điểm là thi công lưới nhanh nhưng số trị đo thừa trong mạng lưới ít, dẫn đến đồ hình lưới không chặt chẽ. Nhờ sự phát triển của các thế hệ máy TĐĐT, phương pháp xây dựng lưới tam giác đo góc - cạnh hiện nay được sử dụng phổ biến hơn cả do tận dụng được các ưu điểm, khắc phục một phần nhược điểm của hai phương pháp trên. Trong một số trường hợp khi gặp địa hình khó khăn có thể áp dụng đồ hình lưới đa giác hoặc lưới giao hội.

2. Phương pháp sử dụng công nghệ GNSS

Ưu điểm vượt trội của công nghệ GNSS trong xây dựng lưới trắc địa so với công nghệ truyền thống là: độ chính xác đạt được đáp ứng yêu cầu thi công công trình, ít phụ thuộc vào người đo, thời gian thi công lưới ngắn, không phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, đặc biệt là không yêu cầu thông hướng giữa các điểm, ít phụ thuộc địa hình. Do vậy xây dựng lưới không chế bằng công nghệ GNSS được ứng dụng rộng rãi trong công tác trắc địa công trình. Với độ chính xác đạt được và khả năng đo được khoảng cách lớn mà không yêu cầu thông hướng, lưới GNSS có thể được phát triển vượt cấp, đây là ưu điểm nổi trội so với công nghệ truyền thống.

3. Phương pháp kết hợp trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh

Trong những năm vừa qua, để thành lập các mạng lưới trắc địa công trình, thiết bị chủ yếu được sử dụng là các loại máy TĐĐT. Có thể nói máy TĐĐT có lợi thế trong các trường hợp đo cạnh ngắn, số lượng trị đo nhiều, yêu cầu thời gian đo

ngắn. Hiện nay, các máy TĐĐT thế hệ mới có khả năng tự động đo nhiều trị đo liên tục theo thời gian. Tuy nhiên, sử dụng máy TĐĐT trở nên kém hiệu quả đối với những khu vực có địa hình phức tạp, đặc biệt khi điều kiện thông hướng kém. Thêm nữa, khi áp dụng phải chọn thời tiết và thời gian đo thích hợp để giảm ảnh hưởng của các yếu tố thời tiết đến các kết quả đo. Chính vì vậy, lưới trắc địa thành lập bằng công nghệ GNSS đã giải quyết được những khó khăn so với lưới trắc địa thành lập bằng công nghệ truyền thống. Một ưu điểm nữa của phương pháp đo bằng công nghệ định vị vệ tinh GNSS là máy thu có khả năng thu tín hiệu liên tục với nhiều trị đo trên một giây. Khả năng này có ưu thế rất lớn trong các công tác quan trắc công trình hoặc hạn chế ảnh hưởng do công trình bị rung lắc [26]. Nhược điểm của công nghệ GNSS là đòi hỏi sự thông thoáng bầu trời tại các điểm đặt máy thu. Vì vậy không thể áp dụng công nghệ GNSS tại những nơi có độ che phủ lớn. Ngoài ra, đo GNSS chịu ảnh hưởng đáng kể của nguồn gây nhiễu tín hiệu, hiện tượng đa đường dẫn từ trạm phát sóng, các đường dây tải điện hay các tín hiệu điện từ khác.

Xuất phát từ ưu, nhược điểm của hai phương pháp nhận thấy rằng, trong một số trường hợp cần phải kết hợp cả đo mặt đất và công nghệ GNSS để thành lập lưới. Khi đó chắc chắn sẽ phát huy được ưu điểm và khắc phục được những mặt hạn chế của mỗi phương pháp, nâng cao hiệu quả kinh tế - kỹ thuật trong công tác xây dựng lưới. Dựa vào số lượng các loại trị đo trong lưới, có thể phân thành các loại: lưới GNSS có bổ sung thêm trị đo mặt đất, lưới mặt đất có bổ sung thêm trị đo GNSS và lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong trường hợp số lượng hai loại trị đo tương đối đồng đều nhau.

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

Mạng lưới trắc địa kết hợp mặt đất - vệ tinh là dạng lưới không chế được xây dựng bao gồm cả trị đo vệ tinh lẫn trị đo mặt đất truyền thống. Từ những năm 1970, khi mà các hệ thống định vị vệ tinh bắt đầu được phát triển, đã có nhiều nghiên cứu về mạng lưới trắc địa kết hợp như nghiên cứu của Krakiwsky và Thomson (1974),

Groten (1977), Gajderowicz (1979, 1981), Adam và các đồng nghiệp (1982), Welsch và Oswald (1984), Baeumker (1984), Swiatek (1986, 1988) [45].

Trước đây, thông thường các trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh sẽ được bình sai riêng rẽ với nhau. Sự kết hợp nếu có giữa hai loại trị đo này thường là sử dụng các phép tính chuyển sau khi đã bình sai hai mạng lưới riêng rẽ. 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. Kết quả đo vệ tinh thu được là các gia số tọa độ ΔX , ΔY , ΔZ trong hệ tọa độ ba chiều không gian địa tâm. Ví dụ như đo GPS sẽ thu được gia số tọa độ trong hệ WGS-84. Trong khi đó các trị đo góc, cạnh, hướng truyền thống lại nằm trên bề mặt thực của khu vực, với giá trị độ cao được tính theo phương của đường dây dọi. Thêm nữa, các trị đo mặt đất sau quá trình xử lý số liệu sẽ được tách ra thành tọa độ mặt bằng (hai chiều) của điểm với hệ quy chiếu là bề mặt Ellipsoid và độ cao điểm (một chiều) với bề mặt quy chiếu là Geoid. Để giải quyết được bài toán bình sai kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh nghĩa là chúng ta phải bình sai hai dạng trị đo khác biệt này trong một hệ quy chiếu 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. Tùy theo mục đích, yêu cầu sử dụng và phạm vi của lưới không chế, mỗi cách chọn hệ quy chiếu đều có ưu nhược điểm và khả năng ứng dụng phù hợp riêng.

Xử lý số liệu là công tác nội nghiệp có vai trò quan trọng của trắc địa, đặc biệt là khi xuất hiện dạng trị đo vệ tinh với những đặc điểm riêng, nên những vấn đề nêu trên cũng là hướng nghiên cứu được quan tâm của các nhà trắc địa trên thế giới. 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

Nghiên cứu của Daxinger và Stirling [51] đã chỉ ra khả năng bình sai lưới hỗn hợp mặt đất vệ tinh trong hệ tọa độ phẳng hai chiều. Để xây dựng mạng lưới trắc địa ở Ba Lan, Kadaj và các đồng nghiệp đã sử dụng chương trình GeoNet

(www.geonet.net.pl), trong đó trị đo mặt đất và vệ tinh được bình sai với lưới mặt bằng hai chiều, còn lưới độ cao một chiều được xử lý riêng rẽ sau khi đã chuyển đổi trị đo của GNSS ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) thành khoảng cách, phương vị và chênh cao trắc địa Ellipsoid $s, \alpha, \Delta H_{TD}$ [44]. Việc chuyển đổi các giá số tọa độ GNSS trong hệ địa tâm sang tọa độ phẳng thành ($\Delta x, \Delta y$) cũng được sử dụng để bình sai kết hợp các mạng lưới có cả trị đo vệ tinh và trị đo mặt đất, chênh cao trắc địa ΔH khi này được chuyển thành chênh cao thủy chuẩn thông thường. Những vấn đề này đã được nghiên cứu và đề cập đến trong các tài liệu [38], [52]. Tuy nhiên, rõ ràng là sự chuyển đổi các giá số tọa độ đo được từ GNSS sang các bề mặt khác, bao gồm các mặt Ellipsoid tham chiếu hay mặt phẳng bản đồ thì đều có chứa sai số hệ thống trong các phép tính [45].

2. Nghiên cứu bình sai lưới không gian kinh điển khi chưa xuất hiện công nghệ định vị vệ tinh

Từ năm 1878, Bruns đã đề xuất đến vấn đề bình sai lưới tam giác trong không gian (ba chiều). Sau đó năm 1957 Hotine đã phát triển đầy đủ lý thuyết của phương pháp này. Kết quả bình sai thử một lưới tam giác không gian ba chiều được Brazier cùng với Windsor công bố thử ngay sau đó [32].

Trước năm 1980, khi chưa có trị đo vệ tinh, hệ tọa độ trắc địa B, L, H được sử dụng để bình sai lưới không gian. Trong đó, người ta có thể đưa góc thiên đỉnh hoặc góc đứng vào bình sai cùng với các trị đo phương vị, trị đo hướng, trị đo khoảng cách. Khi bình sai trong hệ tọa độ trắc địa, mỗi điểm cần xác định sẽ có 3 ẩn số là B_i, L_i, H_i , có thể gọi đây là cách giải quyết bài toán bình sai ba chiều kinh điển [47].

Bài toán bình sai không gian kinh điển nêu trên chặt chẽ về mặt lý luận và cơ sở toán học, nhưng gặp khó khăn trong việc xác định độ cao trắc địa H cho các điểm khởi tính của mạng lưới. Khi chưa có công nghệ định vị vệ tinh, vấn đề xác định độ cao trắc địa H cho một điểm trên mặt đất là công việc khó khăn cho dù đã biết độ cao thủy chuẩn của điểm đó. Như vậy, vấn đề chính là yếu tố dị thường độ cao phải thỏa mãn độ chính xác cần thiết trong bài toán bình sai không gian [50].

3. Nghiên cứu về xử lý số liệu lưới không gian thành lập bởi các trị đo vệ tinh

Sự xuất hiện của công nghệ định vị vệ tinh cho phép chúng ta nhận thêm các trị đo là gia số tọa độ ΔX , ΔY , ΔZ giữa các điểm trên mặt đất trong hệ không gian địa tâm với độ chính xác cao. Tọa độ tuyệt đối X , Y , Z của một điểm trên mặt đất cũng có thể được xác định với độ chính xác cao dựa vào tọa độ và số liệu quan sát tại các điểm thường trực của mạng lưới IGS. Như vậy bài toán bình sai không gian hiện đại được thực hiện trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm X , Y , Z với ẩn số tọa độ điểm cần xác định X , Y , Z và có cách lập các phương trình tính khá đơn giản. Cũng có một số nghiên cứu vẫn chọn ẩn số cho bài toán bình sai không gian lưới vệ tinh là tọa độ trắc địa B , L , H bằng cách chuyển các trị đo của GNSS (ΔX , ΔY , ΔZ) thành các gia số tọa độ trắc địa (ΔB , ΔL , ΔH) [49].

Để giải quyết vấn đề khác biệt giữa hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm trong đo vệ tinh với hệ thực dụng, cần sử dụng các tham số chuyển đổi tọa độ giữa các hệ này. Chẳng hạn với bảy tham số và mô hình toán tính chuyển tọa độ Bursa-Wolf để tính chuyển tọa độ giữa hệ WGS - 84 trong đo GPS hoặc ITRF với hệ thực dụng. Các trị đo ΔX , ΔY , ΔZ trong lưới GNSS lại là các đại lượng tương quan. Ma trận hiệp phương sai hậu nghiệm (Aposteriory Covariance Matrix) sau giải cạnh sẽ là ma trận hiệp phương sai tiên nghiệm (Apriory Covariance Matrix) của bài toán bình sai GNSS [40]. Đây cũng là một điểm khác biệt giữa bài toán bình sai ba chiều hiện đại hay bài toán bình sai kết hợp trị đo GNSS và trị đo truyền thống so với các bài toán hai chiều, ba chiều kinh điển trước đó. Giáo trình về tính toán xử lý số liệu xuất bản năm 2010 mới đây của Charles D.Ghilani đã tổng hợp các vấn đề cơ bản về bình sai lưới không gian thành lập bằng công nghệ GNSS. Trong đó đề cập đến các sai số cần hiệu chỉnh đối với trị đo GNSS, tính chuyển trị đo GNSS về tọa độ trắc địa hay tọa độ phẳng, phân tích về ma trận hiệp phương sai và các bước bình sai lưới GNSS trong hệ tọa độ không gian địa tâm [39].

4. Nghiên cứu lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất truyền thống và vệ tinh

Trong cuốn “GNSS, GPS, GLONASS, GALILEO and more” xuất bản năm 2008 [42], Hofmann Wellenhof và các đồng sự đã đề cập đến việc bình sai lưới kết

hợp trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh GNSS trong hệ tọa độ không gian ba chiều. Trong nghiên cứu này, các phương trình số hiệu chỉnh được thành lập theo ẩn số là tọa độ không gian của điểm cần xác định tọa độ (X, Y, Z) trong hệ tọa độ không gian ba chiều được chọn phù hợp với khu vực đo. Vấn đề bình sai kết hợp các trị đo GNSS và trị đo mặt đất truyền thống trong hệ tọa độ địa diện cũng đã được Slawomir Celimer và Zofia Rzepecka đề cập đến trong [36], nhưng trong đó các trị đo mặt đất chỉ bao gồm cạnh đo mà chưa đề cập đến góc ngang. Trong giáo trình của Charles D.Ghilani [39], cũng có một chương về việc kết hợp trị đo GNSS và trị đo mặt đất, có đề cập đến việc tính chuyển đổi giữa các hệ tọa độ không gian. Trong các tài liệu [45], [51], [54], [55] đã chỉ ra hạn chế khi sự chuyển đổi các giá số tọa độ đo được từ GNSS sang các bề mặt khác, như các mặt Ellipsoid tham chiếu hay mặt phẳng bản đồ, là đều chứa sai số hệ thống trong các phép tính. Các nghiên cứu trên đã đưa ra một số phương án để hạn chế nguồn sai số này. Roman Kadaj (2016) trình bày công thức tính phương trình số hiệu chỉnh của trị đo lưới hỗn hợp với ẩn số dB, dL hoặc db, dl khi bình sai mặt quy chiếu chung được chọn là hệ tọa độ trắc địa B, L, H, nhằm giảm các sai số hệ thống do tính chuyển trị đo GNSS; hoặc trong các tài liệu [51], [54] là hiệu chỉnh tham số chuyển đổi giữa các hệ tọa độ.

5. Nghiên cứu ứng dụng lưới có trị đo GNSS trong xây dựng công trình

Hiện nay, công nghệ định vị vệ tinh được sử dụng rộng rãi trong xây dựng các dạng công trình ở các nước trên thế giới. Có thể kể đến như: quan trắc biến dạng công trình đập thủy điện ở Hungary [34], ở Trung Quốc [46], ứng dụng công nghệ RTK và TĐĐT trong chuyển trục lên nhà cao tầng [33], sử dụng GNSS để chuyển tọa độ lên công trình và kiểm tra độ thẳng đứng tại tòa nhà cao nhất thế giới tháp Burj Dubai tại Tiểu vương quốc Ả Rập [41].... Mới đây cuốn sách mới xuất bản “*New Advanced GNSS and three dimensional Spatial Techniques*” (2017) [35] đã đề cập một cách bao quát những ứng dụng mới nhất của công nghệ GNSS. Có thể nói từ công tác khảo sát thiết kế cho đến thi công hay giai đoạn vận hành công trình, không có dạng công việc nào mà chưa có nghiên cứu và thực tiễn áp dụng công nghệ định vị vệ tinh để giải quyết các vấn đề của trắc địa.

1.2.2. Tình hình nghiên cứu ở Việt Nam

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

1. Ứng dụng công nghệ định vị vệ tinh trong xây dựng công trình

Cho đến nay, công nghệ định vị vệ tinh đã được nghiên cứu ứng dụng theo từng giai đoạn từ thiết kế, thi công đến giai đoạn sử dụng công trình ở nước ta. Rất nhiều công trình đã sử dụng công nghệ định vị vệ tinh trong giai đoạn khảo sát để lập lưới trắc địa phục vụ thi công điển hình như: Trung tâm hội nghị Quốc Gia, nhà máy xi măng Thái Nguyên, cầu Bãi Cháy, cầu Thanh Trì, khu công nghiệp Dung Quất, đường Hồ Chí Minh, đường cao tốc Ninh Bình - Thanh Hóa... Các tài liệu nghiên cứu về vấn đề xây dựng lưới khảo sát có thể kể đến: [17], [27]. Đối với công tác quan trắc chuyển dịch công trình, đã có nhiều công trình nghiên cứu ứng dụng công nghệ, máy móc hiện đại nhằm nâng cao độ chính xác, giảm chi phí, thời gian thực hiện như: ứng dụng công nghệ GPS và máy TĐĐT để quan trắc và đánh giá chuyển dịch ngang của các công trình [13], ứng dụng công nghệ hiện đại trong quan trắc chuyển dịch ngang công trình thủy lợi - thủy điện [22], sử dụng công nghệ GPS độ chính xác cao trong việc xác định độ chuyển dịch của công trình xây dựng ven bờ [21]. Ứng dụng công nghệ hiện đại để thực hiện công tác xây dựng nhà cao tầng gần đây cũng rất được quan tâm. Sở Xây dựng Hà Nội đã cho triển khai nghiên cứu đề tài “Quy trình đo đạc xây dựng công trình nhà cao tầng trên địa bàn thành phố Hà Nội bằng công nghệ GPS và TĐĐT” [6]. Nghiên cứu về vấn đề này còn có các tài liệu [7], [10], [23], [25]... Hiện nay, phương pháp xác định độ thẳng đứng của công trình bằng GNSS đã được sử dụng để kiểm tra kết quả chuyển trục tại một số công trình nhà cao tầng tiêu biểu như tòa nhà Keangnam và tòa nhà Lotte Hanoi Tower ở Hà Nội. Các kết quả đo đạc thực nghiệm tại các công trình này cho thấy công nghệ GNSS hoàn toàn đảm bảo được độ chính xác cần thiết khi bố trí và đo kiểm tra độ thẳng đứng của công trình.

Các nghiên cứu về tính chuyển tọa độ, độ cao GNSS về hệ tọa độ, độ cao công trình đã được công bố có thể kể đến như [11], [19], [28]. Năm 2007, tác giả Trần Viết Tuấn đã bảo vệ luận án tiến sĩ với đề tài “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công trình ở Việt Nam” nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công trình, các biện pháp nâng cao chất lượng lưới GPS. Xây dựng thuật toán và phần mềm tính chuyển tọa độ và độ cao các điểm đo GPS và hệ tọa độ thi công công trình [27].

Dựa trên kết quả nghiên cứu của Viện Khoa học công nghệ Xây dựng, năm 2006, Bộ Xây dựng đã ban hành Tiêu chuẩn kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong TĐCT - TCXDVN 364:2006 để hướng dẫn công tác đo đạc và xử lý số liệu GPS trong các ứng dụng cho mục đích trắc địa công trình [1]. Hiện nay, tiêu chuẩn này đã được chuyển đổi thành TCVN 9401:2012 [30].

2. Nghiên cứu xử lý số liệu lưới vệ tinh và lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh

Kể từ khi công nghệ định vị vệ tinh mà cụ thể là công nghệ GPS bắt đầu được ứng dụng ở nước ta, các nhà khoa học trong nước đã lần lượt công bố các nghiên cứu về vấn đề xử lý số liệu lưới có xuất hiện trị đo vệ tinh. Ở các nghiên cứu ban đầu, trị đo vệ tinh chưa phải là dạng trị đo chính, chiếm số lượng chủ yếu trong toàn bộ lưới, mà chủ yếu đóng vai trò kết nối các mạng lưới riêng rẽ lại với nhau. Cùng về sau này, nhờ những phát triển công nghệ, nâng cao độ chính xác, giảm giá thành của thiết bị GNSS mà trị đo vệ tinh đã trở thành dạng trị đo chính, thậm chí dần dần thay thế các trị đo truyền thống trong nhiều trường hợp.

Các tài liệu nghiên cứu về vấn đề xử lý số liệu lưới kết hợp trị đo mặt đất và GNSS, trong đó trị đo GNSS đóng vai trò để kết nối các mạng lưới riêng lẻ như: luận án của TS. Đinh Công Hòa nghiên cứu và thành lập các thuật toán bình sai trên máy vi tính mạng lưới mặt bằng có sử dụng số liệu đo vệ tinh [12], bài báo của tác giả Trần Khánh nghiên cứu phương pháp bình sai kết nối lưới mặt đất và lưới GPS trong trắc địa công trình [16]. Mới đây trong luận án tiến sĩ của tác giả Bùi Đăng Quang đã

nghiên cứu bài toán khi đo thêm các trị đo GNSS trong trường hợp ghép nối thêm điểm hoặc phục hồi điểm đã mất vào mạng lưới thiên văn - trắc địa quốc gia [20].

Năm 2006, GS.TSKH. Hoàng Ngọc Hà đã công bố bài báo “Một số vấn đề về các mô hình toán học bình sai hỗn hợp lưới mặt đất - GPS” [8]. Nội dung bài báo trình bày một số thuật toán để bình sai lưới kết hợp trị đo mặt đất và GNSS với các mô hình khác nhau như: bình sai kết hợp để xác định 7 tham số tính chuyển, bình sai kết hợp khi sử dụng trị đo GNSS, bình sai trên Ellipsoid, bình sai kết hợp để xác định 4 tham số tính chuyển trong mô hình tọa độ phẳng, bình sai lưới mặt đất và GNSS khi tính chuyển trị đo GNSS thành các giá số tọa độ, phương vị và cạnh. Các nội dung này cũng được tác giả Hoàng Ngọc Hà thống kê và trình bày rõ hơn trong giáo trình “Bình sai tính toán trắc địa và GPS” [9].

Gần đây, mô hình bình sai lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh trên hệ tọa độ địa diện có nhiều ưu điểm phù hợp với công tác xây dựng công trình nên đã được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu. Trong tài liệu [3] “Bình sai lưới GPS trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời” đã nghiên cứu vấn đề tính chuyển tọa độ GNSS sau bình sai về hệ tọa độ địa diện, từ đó dựa vào các điểm song trùng trong hệ tọa độ thi công để tính các tham số tính chuyển theo Helmert để chuyển các điểm GNSS đã xác định trong hệ địa diện về hệ tọa độ thi công công trình. Mới đây, đầu năm 2014, tiến sĩ Lê Văn Hùng đã bảo vệ luận án tiến sĩ với đề tài “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” xác định được phạm vi sử dụng của hệ địa diện chân trời trong trắc địa công trình và đề xuất công thức tính số cải chính biến dạng góc ngang khi bình sai kết hợp trị đo mặt đất và GNSS [14].

Một số các luận án tiến sĩ khác có nghiên cứu lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong thời gian gần đây như tài liệu: [3], [14], [17]. Về ứng dụng lưới kết hợp trị đo góc, cạnh của TĐĐT và trị đo GPS trong công trình cầu có luận án tiến sĩ của tác giả Hồ Thị Lan Hương [15]. Trong đó theo kết luận của tác giả, với điều kiện cầu lớn, địa hình phức tạp nên kết hợp TĐĐT và GNSS để xây dựng lưới kết hợp mặt đất - vệ

tin. Đề cập đến vấn đề tính toán xử lý số liệu lưới hỗn hợp trị đo GPS - mặt đất để phát hiện chuyển dịch ngang của công trình có luận án tiến sĩ [18]. Trong luận án tiến sĩ [5], lưới kết hợp trị đo mặt đất - GPS được áp dụng để thống nhất lưới địa chính Hà Nội.

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

Tính toán xử lý số liệu trắc địa, trong đó có bình sai lưới không chế trắc địa, là một công việc phức tạp, đòi hỏi nhiều thời gian, dễ gây nhầm lẫn. Vì vậy, ngay khi các thiết bị máy tính trở nên phổ biến, lần lượt các phần mềm xử lý số liệu trắc địa đã được nghiên cứu thành lập nhằm đáp ứng nhu cầu thực tế sản xuất, rút ngắn thời gian tính toán, tránh sai sót nhầm lẫn khi tính.

Ở Việt Nam hiện nay, trên thị trường có một số phần mềm như: Hhmaps, DpSurvey, Picknet, APNET2012, Pronet, Adnet... Chức năng chủ yếu của các phần mềm này là xử lý số liệu lưới mặt bằng, lưới độ cao, tính số liệu quan trắc chuyển dịch, lập trắc dọc trắc ngang, tính chuyển giữa các hệ tọa độ. Phần mềm Picknet cho phép xử lý số liệu lưới không chế. Phần mềm DPSurvey, Hhmaps cho phép biên tập 7 bảng theo các phần mềm xử lý số liệu đo GNSS như Compass, TBC, TTC... Xử lý số liệu đo lưới kết hợp trị đo GNSS và mặt đất hiện nay có phần mềm ADGT [14].

Trên thế giới hiện nay, ngoài những bộ phần mềm của các hãng sản xuất máy, còn có một số phần mềm xử lý số liệu trắc địa được giới thiệu trên mạng Internet tại các website của một số công ty thiết kế xây dựng phần mềm Địa tin học như: STAR*NET v7.1 (Canada), MOVE3 v.4.0.2 (Hà Lan), COMLUMBUS v.3.8 (Hoa Kỳ)... Đây là những phần mềm chuyên về bình sai các mạng lưới (một chiều, hai chiều, ba chiều) theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, chúng đều có chức năng bình sai lưới GNSS từ kết quả giải cạnh. Một số phần mềm như STAR*NET hay Trimnet Plus của hãng Trimble đã xét tới bình sai kết hợp GNSS và trị đo TĐĐT để đáp ứng được thực tế ứng dụng nhiều công nghệ trong sản xuất.

Có thể thấy, các phần mềm xử lý số liệu trắc địa là 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 nhiều phần mềm có khả năng xử lý những dạng lưới phức tạp như lưới kết hợp trị đo 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

Từ các kết quả nghiên cứu ở ngoài nước và trong nước đã nêu ở trên cho thấy, trong khoảng gần 20 năm trở lại đây, xu thế ứng dụng công nghệ định vị vệ tinh để thành lập lưới khống chế trắc địa nói chung và lưới trắc địa công trình nói riêng đã trở nên phổ biến. Qua việc tìm hiểu tổng quan tình hình nghiên cứu những vấn đề liên quan trên thế giới và trong nước có thể rút ra một số nhận xét như sau:

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 mà chúng ta chưa thể 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 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

Công trình yêu cầu độ chính xác cao là những công trình kỹ thuật đòi hỏi độ chính xác rất cao ngay từ khi chế tạo, lắp đặt từng chi tiết, cũng như độ ổn định về vị trí trong suốt thời gian vận hành để đảm bảo chế độ hoạt động bình thường của chúng. Đặc điểm nổi bật của dạng lưới không chế trắc địa phục vụ xây dựng công trình độ chính xác cao là yêu cầu độ chính xác rất cao đối với một số yếu tố trong lưới tùy thuộc vào tính chất công trình. Hiện nay với sự tiến bộ của khoa học công nghệ, để đảm bảo độ chính xác xây dựng lưới không chế trắc địa phục vụ xây dựng công trình độ chính xác cao nên áp dụng những thiết bị hiện đại nhất. Công nghệ và thiết bị hiện đại phục vụ thành lập lưới không chế trắc địa có thể áp dụng như công nghệ định vị toàn cầu GNSS, các máy TĐĐT thế hệ mới và các phần mềm tính toán cho phép xử lý các bài toán phức tạp trong thời gian ngắn.

Công trình nhà cao tầng, siêu cao tầng, công trình thủy điện có thể coi là một trong những công trình yêu cầu độ chính xác cao đối với công tác trắc địa. Với tốc độ đô thị hóa và gia tăng dân số nhanh chóng ở nước ta hiện nay, các tòa nhà siêu cao tầng (hơn 40 tầng) đang mọc lên ngày càng nhiều, với số tầng ngày càng lớn tại các thành phố. Dựa vào tiêu chuẩn [29], các phân tích trong [23] và các nghiên cứu đã được công bố của chúng tôi, để thỏa mãn yêu cầu công tác bố trí các kết cấu và chuyển trục công trình thi công nhà cao tầng thì sai số trung phương vị trí tương hỗ giữa hai điểm kề nhau của lưới không chế cơ sở trên mặt bằng móng cần đạt độ chính xác cỡ $\pm 1,6 \div 2$ mm. Nếu thành lập lưới hai cấp thì độ chính xác của lưới định vị yêu cầu cỡ $\pm 0,9$ mm. Với điều kiện thực tế ngoài hiện trường thì khó có thể đạt được độ chính xác như trên. Công trình thủy điện thường được xây dựng ở những khu vực địa hình phức tạp, đặc biệt yêu cầu độ chính xác cao với công tác lắp đặt thiết bị,

quan trắc biến dạng kể từ khi xây dựng cho tới toàn bộ quá trình sử dụng lâu dài của công trình. Vì vậy, có thể xếp nhà cao tầng, siêu cao tầng và thủy điện hiện đang được xây dựng rộng rãi ở Việt Nam là dạng công trình yêu cầu độ chính xác cao trong công tác trắc địa trong giai đoạn hiện nay.

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

Dung sai xây lắp công trình Δ_{XD} phải thỏa mãn yêu cầu:

$$\Delta_{XD} \leq \Delta_{XD}^{CP} \quad (2.1)$$

trong đó dung sai xây dựng Δ_{XD} là chênh lệch giữa kích thước thiết kế và kích thước xây lắp thực tế. Dung sai xây dựng cho phép Δ_{XD}^{CP} là chênh lệch cho phép giữa kích thước thiết kế và kích thước xây dựng, nhằm đảm bảo công trình xây dựng xong vẫn ổn định, tồn tại bền vững, vận hành khai thác bình thường. Dung sai xây dựng cho phép được xác định dựa trên giải pháp kết cấu, phương pháp thi công ... thường được qui định trong các quy phạm, tiêu chuẩn. Trong một số trường hợp đòi hỏi độ chính xác cao, cần có phương án riêng để tính dung sai của công tác trắc địa [31].

Dung sai xây dựng là tổng hợp của các dung sai thành phần:

$$\Delta_{XD}^2 = \Delta_{TD}^2 + \Delta_{TC}^2 + \Delta_{BD}^2 + \dots \quad (2.2)$$

Trong đó ba dung sai chính là: Δ_{TD} - dung sai trắc địa, Δ_{TC} - dung sai thi công và Δ_{BD} - dung sai biến dạng. Nếu coi ba dung sai này độc lập và ảnh hưởng bằng nhau còn các dung sai khác không đáng kể có thể bỏ qua, thì dung sai trắc địa cho phép Δ_{TD}^{CP} xác định được theo công thức:

$$\Delta_{TD}^{CP} \leq \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{\sqrt{3}} \quad (2.3)$$

Nếu coi dung sai trắc địa cho phép Δ_{TD}^{CP} là sai số giới hạn thì sai số trung phương phương tổng hợp của công tác trắc địa trong bố trí công trình m_{TD}^{CP} phải nhỏ hơn hoặc

bằng dung sai trắc địa cho phép, thể hiện trong công thức:

$$m_{TD} = \frac{m_{TD}^{CP}}{t} \leq \frac{\Delta_{TD}^{CP}}{t} \quad (2.4)$$

với t là hệ số xác suất, t có thể chọn là 2 hoặc 3.

Trong trắc địa công trình, sai số của một đối tượng được bố trí lên trên bề mặt thực địa bao gồm sai số lưới khống chế và sai số của công tác bố trí:

$$m_{TD}^2 = m_{KC}^2 + m_{BT}^2 \quad (2.5)$$

trong đó: m_{TD} là sai số trung phương tổng hợp của công tác trắc địa trong bố trí công trình, m_{KC} là sai số do lưới khống chế, m_{BT} là sai số của công tác bố trí.

Khi xây dựng lưới khống chế có đo nối với mạng lưới Quốc gia để phục vụ thi công bố trí công trình, nếu áp dụng nguyên tắc ảnh hưởng không đáng kể (<11%), tính được sai số trung phương điểm khống chế cần thiết là:

$$m_{KC} = \frac{m_{TD}}{2} \quad (2.6)$$

Trường hợp xây dựng lưới nhiều cấp:

Khi thiết kế lưới khống chế có n cấp cần thỏa mãn điều kiện:

$$M = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2} = \pm m_1 \sqrt{1 + \frac{1}{K^2} + \dots + \frac{1}{K^{2(n-1)}}} \quad (2.7)$$

trong đó: M - sai số tổng hợp vị trí điểm của bậc khống chế cuối cùng

m_1, m_2, \dots, m_n - sai số của mỗi bậc khống chế 1, 2, ..., n

K - hệ số giảm độ chính xác giữa 2 cấp lưới, thường chọn $K = 2 \div 3$.

Nếu lưới khống chế được xây dựng thành nhiều cấp thì thay (2.3), (2.4) vào (2.6), tổng sai số trung phương điểm khống chế thi công các cấp được tính như sau:

$$m_{KC} \leq \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{4\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

Tính theo công thức (2.8), ví dụ nếu dung sai xây dựng cho phép của công trình là ± 50 mm, thì lưới khống chế thi công cần có độ chính xác khoảng ± 7 mm. Nếu dung sai xây dựng cho phép là ± 20 mm thì lưới khống chế thi công cần có độ chính xác khoảng ± 3 mm.

Trường hợp xây dựng lưới 1 cấp:

Lưới một cấp có các điểm khống chế và điểm bố trí được đo và tính bình sai đồng thời trong một cấp lưới. Thay (2.3), (2.4) vào (2.6), ta có sai số trung phương điểm khống chế thi công bằng sai số điểm bố trí được tính theo công thức:

$$m_{KC} \leq \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{2\sqrt{3}} \quad (2.9)$$

Tính theo công thức (2.9), nếu dung sai xây dựng cho phép của công trình là ± 50 mm, thì lưới khống chế thi công cần có độ chính xác khoảng ± 14 mm. Nếu dung sai xây dựng cho phép là ± 20 mm thì lưới khống chế thi công cần có độ chính xác khoảng $\pm 5,5$ mm.

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

Lưới tam giác không gian là dạng lưới trong đó xác định được đồng thời vị trí mặt bằng và độ cao của các điểm. Trong lưới tam giác không gian truyền thống có những loại trị đo: khoảng cách nghiêng S , góc ngang β , góc thiên đỉnh Z hoặc góc nghiêng V . Các trị đo này cần được quy về tâm các mốc của lưới. Trong các loại trị đo trên, trị đo khoảng cách nghiêng được đo từ tâm máy đến tâm gương nên không chịu ảnh hưởng của độ nghiêng trục quay máy. Kết quả đo khoảng cách nghiêng chỉ chịu ảnh hưởng của sai số định tâm máy, định tâm gương, các sai số đo khoảng cách do bộ phận điện tử của máy và ảnh hưởng của điều kiện môi trường. Ngược lại, khi độ nghiêng của tia ngắm tăng lên thì ảnh hưởng độ nghiêng trục quay máy đến hướng

ngang và góc ngang cũng sẽ tăng. Với độ nghiêng tia ngắm lớn thì sai số của hướng ngang và góc ngang sẽ đạt giá trị đáng kể. Do vậy, trong lưới tam giác không gian cạnh ngắn và cực ngắn cần hạn chế sử dụng các trị đo góc ngang giữa các điểm có chênh lệch độ cao lớn [24].

2.3.1. Phân loại lưới khống 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
	$10 \div 99$ m	$100 \div 999$ m	$1000 \div 9999$ m	>10000 m

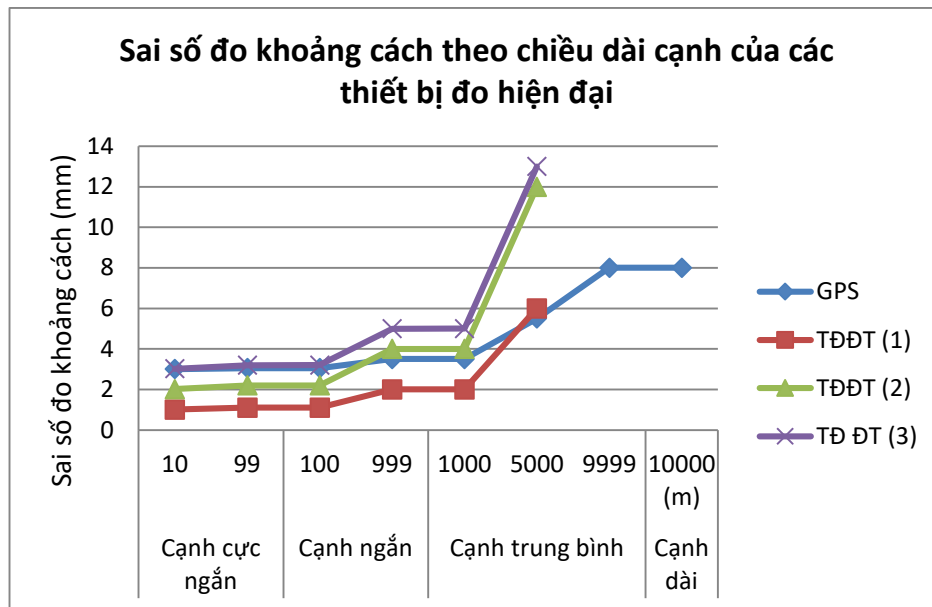
Để tiện phân biệt, có thể phân loại cạnh đo theo chiều dài thành: cạnh dài, cạnh trung bình, cạnh ngắn, cạnh cực ngắn theo bảng 2.1. Với cách phân loại như trên, lưới khống chế trong công trình thường là lưới cạnh ngắn và cực ngắn. Chiều dài cạnh gần tương đương với chiều cao đối với những công trình có chiều cao lớn.

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

Bảng 2.2. Thông số của các máy TĐĐT và GNSS sử dụng để khảo sát độ chính xác đo khoảng cách

TT	Loại máy	Hãng sản xuất	Tầm hoạt động	Sai số khoảng cách
1	GNSS R7s, R8s, R9s, R10s	Trimble Mỹ	≥ 10 km	$\pm(3 \text{ mm} + 0.5 \cdot 10^{-6} \cdot D)$
2	TC - 2002, 2003 TĐĐT (1)	Leica Thụy sỹ	4.2 km	$\pm(1 \text{ mm} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D)$
3	TC - 1700 TĐĐT (2)	Leica Thụy sỹ	5.0 km	$\pm(2 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D)$
4	GTS6001 TĐĐT (3)	Topcon Nhật Bản	7.0 km	$\pm(3 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D)$

Với cách phân loại cạnh như bảng 2.1, lưới khống chế trong công trình thường là lưới khoảng cách ngắn và cực ngắn. Tùy theo khoảng cách đo, người làm trắc địa sẽ sử dụng dụng cụ, phương pháp đo phù hợp. Có rất nhiều các phương pháp khác nhau để đo khoảng cách từ truyền thống đến hiện đại. Ở đây đề cập đến hai phương pháp đo khoảng cách hiện đại, có độ chính xác cao là đo bằng máy TĐĐT và công nghệ GNSS.



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

Tiến hành khảo sát độ chính xác đo khoảng cách của máy TĐĐT và thiết bị thu GNSS theo catalogue một số loại máy. Các máy được chọn đều là các thiết bị đo có độ chính xác cao với thông số như trong bảng 2.2. Trong đó chọn 3 mẫu máy TĐĐT kí hiệu là TĐĐT (1), TĐĐT (2), TĐĐT (3) có độ chính xác đo khoảng cách giảm dần. Nhận thấy hệ số a của máy TĐĐT từ 1 ÷ 3, của máy thu GNSS là 3, còn hệ số b của máy thu GNSS nhỏ hơn so với các máy TĐĐT. Dựa vào sai số đo khoảng cách theo catalogue của các máy trên, tính được sai số đo khoảng cách theo chiều dài cạnh đo biểu diễn trên biểu đồ hình 2.1. Với các khoảng cách ngắn và cực ngắn, sử dụng máy TĐĐT có độ chính xác đo tốt hơn. Với khoảng cách dài trung bình khoảng 1km, trên thực tế việc ngắm mục tiêu trở nên khó khăn, nên sai số đo khoảng cách của máy

TĐĐT sẽ khó đạt được độ chính xác như kết quả tính theo công thức là $\pm (2 \div 5)$ mm. Trong khi đó kết quả tính sai số của máy thu GNSS trên khoảng cách 1km là ± 3.5 mm tương đương kết quả của TĐĐT mà lại không bị ảnh hưởng bởi sai số ngắm bắt mục tiêu. Các máy TĐĐT chỉ có tầm hoạt động dưới 10km, thời gian đo tăng với khoảng cách dài. Vì vậy, khi đo khoảng cách trung bình hay khoảng cách dài, nên sử dụng công nghệ định vị vệ tinh để tiết kiệm thời gian và đảm bảo độ chính xác.

Do vậy, 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

Như đã trình bày ở trên, lưới không gian truyền thống bao gồm trị đo cạnh nghiêng, góc nghiêng (hoặc góc thiên đỉnh) và góc ngang. Để xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn truyền thống, thường bình sai số liệu đo theo phương pháp bình sai gián tiếp thông thường trong hệ tọa độ vuông góc không gian bất kì. Hệ tọa độ không gian được lựa chọn phù hợp với thực tiễn của lưới khống chế, có thể là hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm, hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời, cũng có thể là hệ tọa độ vuông góc không gian quy ước của công trình... Khi xử lý số liệu lưới tam giác không gian theo phương pháp bình sai gián tiếp trong hệ tọa độ vuông góc không gian bất kì, tạm kí hiệu là hệ tọa độ Oxyz, phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo được biểu diễn như sau [53]:

1. Phương trình số hiệu chỉnh đối với khoảng cách nghiêng S_{ij}

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

$$\text{trong đó: } a_{ij} = \frac{\Delta x_{ij}}{(\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2 + \Delta z_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}}; \quad b_{ij} = \frac{\Delta y_{ij}}{(\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2 + \Delta z_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$c_{ij} = \frac{\Delta z_{ij}}{(\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2 + \Delta z_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}}; \quad l_{S_{ij}} = S_{ij}^o - S_{ij}^{do}; \quad S_{ij}^o = \sqrt{(x_j^o - x_i^o)^2 + (y_j^o - y_i^o)^2 + (z_j^o - z_i^o)^2}$$

Chỉ số “0” ở phía trên thể hiện trị gần đúng của các tọa độ.

2. Phương trình số hiệu chỉnh đối với góc ngang (bằng) β_{jik}

Tùy thuộc vào hệ tọa độ lựa chọn, cần đưa vào các số hiệu chỉnh tương ứng để chuyển trị đo góc trên mặt đất tự nhiên về góc ngang trong hệ tọa độ này. Dạng chung của phương trình số hiệu chỉnh đối với góc ngang (bằng) β_{jik} như sau:

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

$$\text{Với: } a_{ik} = \frac{\text{Sin}\alpha_{ik}^0}{S^0} \rho''; \quad b_{ik} = -\frac{\text{Cos}\alpha_{ik}^0}{S^0} \rho'';$$

$$a_{ij} = \frac{\text{Sin}\alpha_{ij}^0}{S^0} \rho''; \quad b_{ij} = -\frac{\text{Cos}\alpha_{ij}^0}{S^0} \rho''; \quad l_{\beta} = \beta^0 - \beta^{\text{đo}}$$

3. Phương trình số hiệu chỉnh đối với góc thiên đỉnh Z_{ik}

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

$$\text{ở đây: } A_{ik} = -\rho \frac{x_k^o - x_i^o}{S_{ik}^{o2}} \cdot \cot gZ_{ik}; \quad B_{ik} = -\rho \frac{y_k^o - y_i^o}{S_{ik}^{o2}} \cdot \cot gZ_{ik}; \quad C_{ik} = \rho \frac{D_{ik}^o}{S_{ik}^{o2}}$$

$$A_{ki} = -A_{ik}; \quad B_{ki} = -B_{ik}; \quad C_{ki} = -C_{ik}; \quad D_{ik}^o = \sqrt{(x_k^o - x_i^o)^2 + (y_k^o - y_i^o)^2};$$

$$l_{Z_{ik}} = Z_{ik}^o - Z_{ik}^{\text{đo}}; \quad \cot gZ_{ik}^o = \frac{z_k^o - z_i^o}{D_{ik}^o}.$$

Các phương trình số hiệu chỉnh viết dưới dạng ma trận:

$$V = A \cdot x + L \quad (2.13)$$

Thành lập được phương trình chuẩn có dạng:

$$R \cdot x + b = 0 \quad (2.14)$$

với $R = A^T P A$; $b = A^T P L$.

Các ẩn số được xác định theo công thức:

$$x = -R^{-1}.b \quad (2.15)$$

Việc đánh giá độ chính xác của các yếu tố được thực hiện theo lý thuyết bình sai gián tiếp.

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

Ngày nay, công nghệ định vị vệ tinh được sử dụng rộng rãi trong công tác trắc địa, với độ chính xác ngày càng cao. Kết quả trị đo vệ tinh thu nhận được là các giá số tọa độ ΔX , ΔY , ΔZ , có thể coi là một dạng của trị đo khoảng cách nghiêng nằm trong hệ tọa độ không gian địa tâm. Lưới không gian hiện đại là lưới không gian đo vệ tinh hoặc kết hợp trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh. Khi đưa kết quả đo vệ tinh vào lưới không gian cùng với các dạng trị đo khác, cần lưu ý đến vấn đề tính chuyên đề thống nhất về hệ qui chiếu giữa các kết quả đo trước khi đưa vào một bài toán bình sai chung. Việc thành lập lưới khống chế kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh phát huy được ưu điểm và khắc phục được nhược điểm của mỗi phương pháp đo. Tuy nhiên, do phải sử dụng nhiều loại thiết bị, với số lượng trị đo lớn nên việc đo đạc cũng như xử lý số liệu lưới sẽ mất nhiều thời gian hơn. Cần cân nhắc và tính toán kỹ lưỡng khi sử dụng TĐĐT hay công nghệ định vị vệ tinh để đo các yếu tố trong lưới, sẽ tận dụng được ưu điểm của mỗi phương pháp đo. Do những đặc điểm trên, lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh thường được thành lập khi địa hình phức tạp, khó đảm bảo thông hướng, điều kiện thi công khó khăn, yêu cầu độ chính xác cao. Với sự phát triển của thiết bị, công nghệ hiện đại dẫn đến độ chính xác đo đạc ngày càng cao, khả năng áp dụng dạng lưới không gian trong lĩnh vực xây dựng công trình ngày càng có tính khả thi cao. Khoảng cách trong lưới công trình thường là khoảng cách ngắn, nên có thể gọi dạng lưới này là lưới không gian cạnh ngắn.

Mặt bằng công trình xây dựng dân dụng thường có phạm vi nhỏ (nhỏ hơn 1 km mỗi chiều), do được xây dựng trong khu đô thị, thành phố lớn chật chội, đông đúc. Trung bình một công trình nhà cao tầng có chiều cao $100 \div 500$ m, công trình cao nhất thế giới cao trên 800 m. Chiều cao lớn như vậy sẽ gần tương đương với kích

thước các cạnh của lưới định vị cần thành lập. Nếu lưới không chế được thành lập để phục vụ công tác chuyển trục lên tầng nhà cao tầng thì cần phải có các điểm định vị ở dưới mặt đất của công trình và các điểm trục trên tầng cao của tòa nhà, hai loại điểm này có chênh cao lớn, gần tương đương với khoảng cách giữa chúng. Khoảng cách giữa các điểm trên tầng rất ngắn, nằm trên cùng một mặt bằng, đo bằng TĐĐT rất thuận tiện và chính xác. Ngược lại, để kết nối giữa các điểm trên tầng, các điểm định vị và các điểm dưới cốt 0,0, do rất khó đảm bảo được tính thông hướng giữa các điểm nên được đo bằng công nghệ định vị vệ tinh GNSS. Lưới không chế này có hai dạng trị đo mặt đất và vệ tinh nằm ở hai hệ quy chiếu khác nhau, khoảng cách ngắn, chênh cao giữa các điểm lớn, có thể gọi là lưới không gian cạnh ngắn. Để xử lý số liệu lưới này nên tiến hành bình sai lưới không gian là phù hợp. Lưới phục vụ xây dựng nhà cao tầng, siêu cao tầng có thể coi là dạng lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh điển hình nhất.

Tương tự, trong xây dựng thủy điện, địa hình khu vực xây dựng thường rất phức tạp, chênh lệch độ cao giữa các điểm có thể khá lớn, thông hướng khó khăn, nên nếu kết hợp đo bằng công nghệ định vị vệ tinh và trị đo mặt đất thì lưới xây dựng dễ dàng và linh hoạt hơn. Trong trường hợp này, đo liên kết toàn lưới được thực hiện bằng GNSS; đo trong phạm vi các khu vực có khoảng cách ngắn, chênh cao nhỏ thực hiện bằng TĐĐT.

Những trường hợp trên đều là những ví dụ cho dạng lưới không gian cạnh ngắn áp dụng trong xây dựng công trình. Phương pháp thành lập phù hợp với dạng lưới không gian cạnh ngắn là đo bằng công nghệ định vị vệ tinh kết hợp với các trị đo mặt đất. Lý do là để tận dụng ưu điểm và khắc phục nhược điểm của cả hai dạng trị đo này. Trị đo vệ tinh cho phép đo mà không cần thông hướng, thường đặt ở những điểm định vị bên ngoài công trình, kết nối với một số điểm trên mặt bằng công trình. Trị đo mặt đất thực hiện trên mặt bằng công trình, trong khoảng cách ngắn thì độ tin cậy cao hơn, thời gian đo ngắn hơn trị đo vệ tinh. Hệ tọa độ thích hợp sử dụng trong bài toán bình sai lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh áp dụng xây

dựng công trình là hệ tọa độ địa diện, nhờ có thể dễ dàng thống nhất hai dạng trị đo về cùng một hệ quy chiếu và chuyển đổi các kết quả về hệ tọa độ công trình.

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 để đảm bảo độ chính xác cần thiết của công tác trắc địa.

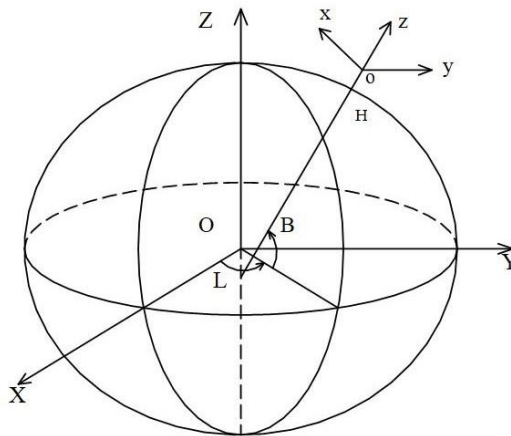
Chương 3

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

Một điểm trên bề mặt Trái đất có thể được biểu diễn trong nhiều hệ tọa độ. Tuy nhiên, khi cần thiết hoàn toàn có thể tính chuyển giữa các hệ tọa độ với nhau dựa vào các phép tính chuyển. Liên quan đến bài toán bình sai lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh ứng dụng trong công trình có các hệ tọa độ sau:



Hình 3.1. Một số hệ tọa độ không gian ba chiều thường dùng

Hình 3.1 thể hiện ba hệ tọa độ không gian ba chiều thường sử dụng trong công trình: hệ tọa độ địa tâm X, Y, Z , hệ tọa độ trắc địa B, L, H và hệ tọa độ địa diện chân trời x, y, z .

1. Hệ tọa độ không gian địa tâm X, Y, Z : các trị đo vệ tinh GNSS được xác định trên hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm. Vì khác với hệ tọa độ công trình nên muốn sử dụng kết quả đo GNSS cần phải tính chuyển về hệ tọa độ phù hợp với công trình. Có thể tính chuyển trước hoặc sau khi bình sai.

2. *Hệ tọa độ trắc địa B, L, H* : thường sử dụng như tọa độ trung gian chuyển đổi giữa các hệ tọa độ khác nhau.

3. *Hệ tọa độ địa diện chân trời x, y, z* : có điểm gốc tại tâm công trình hoặc một điểm bất kì gần công trình. Trục x là giao tuyến của mặt phẳng kinh tuyến qua điểm gốc và mặt phẳng nằm ngang (vuông góc với pháp tuyến tại điểm gốc), trục x hướng về cực Bắc. Trục z lấy theo phương pháp tuyến với mặt Ellipsoid tại điểm gốc. Trục y hướng về phía Đông và vuông góc với mặt phẳng xOz . Một số nghiên cứu gần đây như [3], [14], [19], đều nhận định rằng hệ tọa độ địa diện chân trời thích hợp để sử dụng làm hệ tọa độ cơ sở phục vụ giai đoạn khảo sát, thiết kế và thi công công trình. Hệ tọa độ địa diện chân trời rất phù hợp để tính toán lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh với lý do dễ dàng tính chuyển trị đo vệ tinh về hệ này và tính chuyển kết quả bình sai về hệ tọa độ quy ước của công trình x', y', h' .

Ngoài ba hệ tọa độ ba chiều trên, còn hai hệ tọa độ khác thường dùng trong xây dựng công trình là:

4. *Hệ tọa độ quốc gia VN 2000*: sử dụng phép chiếu UTM, ellipsoid quy chiếu WGS-84 và độ cao thủy chuẩn H theo hệ độ cao Hòn Dấu - Hải Phòng. Đây là hệ tọa độ quốc gia được áp dụng thống nhất trên toàn quốc cho tất cả các loại tư liệu khảo sát và xây dựng công trình bắt đầu từ năm 2000 đến nay.

5. *Hệ tọa độ quy ước của công trình x', y', h'* : phục vụ thi công công trình gồm hệ tọa độ phẳng độc lập hai chiều x', y' và hệ tọa độ một chiều h' . Hệ tọa độ phẳng x', y' thường chọn sao cho các trục song song hoặc vuông góc với các trục chính của công trình. Hệ tọa độ một chiều h' được chọn ứng với chiều cao công trình tính từ điểm gốc nằm trên mặt bằng móng cốt 0,0.

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

Để thực hiện bài toán bình sai lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh trong nội dung nghiên cứu của luận án, nhận thấy sử dụng hệ tọa độ vuông góc

không gian địa diện chân trời là hoàn toàn hợp lý. Việc tính chuyển trị đo vệ tinh về hệ tọa độ địa diện khá dễ dàng thông qua ma trận xoay. Với phạm vi hẹp của công trình xây dựng, các cạnh ngắn và cực ngắn, các dạng trị đo mặt đất không cần hoặc ít phải tính cải chính khi đưa về hệ tọa độ địa diện. Kết quả bài toán bình sai là giá trị tọa độ các điểm trong hệ địa diện x, y, z thông qua phép tính chuyển Helmert sẽ nhận được tọa độ trong hệ tọa độ quy ước (cục bộ) của công trình. Vì vậy, khi tính chuyển tọa độ lưới đo kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh về hệ tọa độ công trình thông qua hệ tọa độ không gian địa diện chân trời thì thủ tục tính chuyển đơn giản, giảm thiểu được nhiều khâu tính chuyển trung gian, đồng nghĩa với việc giảm thiểu đáng kể sai số do quá trình tính chuyển tọa độ.

Cần lưu ý khi lựa chọn hệ quy chiếu tọa độ phải đảm bảo: hệ tọa độ được chọn là hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời với gốc tọa độ chọn là điểm trọng tâm của công trình; độ cao của điểm gốc tọa độ địa diện được chọn là độ cao trung bình của khu vực xây dựng công trình hoặc là 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

Lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh gồm có các trị đo: khoảng cách nghiêng, góc ngang, góc thiên đỉnh, trị đo baseline vệ tinh. Khi xử lý các trị đo lưới không gian theo phương pháp bình sai gián tiếp trong hệ tọa độ địa diện chân trời, phương trình số hiệu chỉnh của các loại trị đo như sau:

1. Phương trình số hiệu chỉnh đối với khoảng cách nghiêng S_{ij} có dạng (2.10);
2. Phương trình số hiệu chỉnh đối với góc ngang (bằng) β_{jik} có dạng (2.11);
3. Phương trình số hiệu chỉnh đối với góc thiên đỉnh Z_{ik} có dạng (2.12);
4. Phương trình số hiệu chỉnh đối với trị đo bằng công nghệ GNSS như sau:

$$\begin{aligned}
v_{\Delta X_{ij}} &= -\delta x_i + \delta x_j + l_{\Delta X_{ij}} \\
v_{\Delta Y_{ij}} &= -\delta y_i + \delta y_j + l_{\Delta Y_{ij}} \\
v_{\Delta Z_{ij}} &= -\delta z_i + \delta z_j + l_{\Delta Z_{ij}}
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Trong đó: $l_{\Delta X_{ij}} = (x_j^o - x_i^o - \Delta x_{ij})$; $l_{\Delta Y_{ij}} = (y_j^o - y_i^o - \Delta y_{ij})$; $l_{\Delta Z_{ij}} = (z_j^o - z_i^o - \Delta z_{ij})$.

Với Δx_{ij} , Δy_{ij} , Δz_{ij} là kết quả đo GNSS đã tính chuyển về hệ địa diện chân trời.

Ảnh số trong các phương trình (2.10), (2.11), (2.12), (3.1) δx_i , δy_i , δz_i là gia số tọa độ trong hệ tọa độ địa diện chân trời.

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 để thực hiện bài toán 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 [14]:

Bước 1: Tính đôi tọa độ hai chiều \overline{x}_G , \overline{y}_G (UTM) 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 tại điểm quy chiếu theo công thức (3.2).

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin B_G \cos L_G & -\sin L_G & \cos B_G \cos L_G \\ -\sin B_G \sin L_G & \cos L_G & \cos B_G \sin L_G \\ \cos B_G & 0 & \sin B_G \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

Bước 3: Tính chuyển n gia số tọa độ địa tâm ΔX , ΔY , ΔZ thành n gia số tọa độ địa diện Δx , Δy , Δz theo công thức (3.3), đồng thời xác định ma trận hiệp phương sai trong hệ địa diện M dựa vào ma trận xoay R và ma trận hiệp phương sai trong hệ địa tâm C_{XYZ} theo công thức (3.4).

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = R^T \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$M_{xyz} = R^T \cdot C_{XYZ} \cdot R \quad (3.4)$$

Với ma trận hiệp phương sai C_{XYZ} thu được từ kết quả đo GNSS có dạng:

$$C_{XYZ} = \begin{bmatrix} Var(X) & Cov(X, Y) & Cov(X, Z) \\ Cov(X, Y) & Var(Y) & Cov(Y, Z) \\ Cov(X, Z) & Cov(Y, Z) & Var(Z) \end{bmatrix}$$

Bước 4: Kiểm tra sai số khép hình f_x, f_y, f_z trong hệ địa diện theo công thức:

$$f_x = \sum_{i=1}^n \Delta x_i, f_y = \sum_{i=1}^n \Delta y_i, f_z = \sum_{i=1}^n \Delta z_i \quad (3.5)$$

Bước 5: Bình sai lần thứ nhất chỉ thuần túy 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 μ_{GPS} .

Bước 6: Bình sai lần thứ hai, kết hợp các trị đo GNSS ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) với các trị đo góc bằng β và các trị đo chiều dài 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 . Bài toán bình sai lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh theo phương pháp gián tiếp trong hệ tọa độ không gian địa diện chân trời bao gồm các bước:

- Lập các phương trình số hiệu chỉnh trị đo GNSS theo công thức (3.1). Tính ma trận trọng số \tilde{P}_i (3×3) của từng gia số tọa độ cạnh GNSS theo công thức (3.6) với μ_{GNSS} thu được từ lần bình sai thứ nhất.

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

- Lập các phương trình số hiệu chỉnh trị đo góc bằng β theo công thức (2.11), các phương trình số hiệu chỉnh trị đo cạnh nghiêng S theo công thức (2.10). Trọng số của trị đo góc, cạnh tính theo công thức (3.7), (3.8) với hằng số $C = 1$. Công thức xác định trọng số của trị đo góc như sau:

$$P_{\beta} = \frac{c}{m_{\beta}^2} \quad (3.7)$$

Công thức xác định trọng số của trị đo cạnh như sau:

$$P_S = \frac{c}{m_S^2} \quad (3.8)$$

Từ các phương trình vừa thành lập, nhận được ma trận hệ phương trình số hiệu chỉnh có dạng:

$$V_i = A_i X + L_i$$

- Lập ma trận hệ phương trình chuẩn chung theo công thức (3.9).

$$(A^T P A) X + (A^T P L) = 0 \quad (3.9)$$

- Giải hệ phương trình chuẩn, nhận được vector ẩn số X theo công thức:

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (3.10)$$

- Tính tọa độ sau bình sai, số hiệu chỉnh và trị sau bình sai cho các trị đo.
- Tính sai số trung phương đơn vị trọng số:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[P V V]}{3n + n_1 + n_2 - t}} \quad (3.11)$$

trong đó: n là số cạnh GNSS, n_1 là số góc bằng, n_2 là số cạnh đo, t là số ẩn số cần xác định trong lưới.

- Đánh giá độ chính xác ẩn số và hàm các trị bình sai.

Sai số trung phương các thành phần tọa độ của điểm trong hệ địa diện chân trời được tính theo công thức (3.12):

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \mu \cdot \sqrt{Q_{xx}} \\ m_y &= \mu \cdot \sqrt{Q_{yy}} \\ m_z &= \mu \cdot \sqrt{Q_{zz}} \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

Với Q_{xx}, Q_{yy}, Q_{zz} là các phần tử trên đường chéo chính của ma trận nghịch đảo Q ứng với tọa độ x, y, z của điểm cần đánh giá.

Sai số trung phương vị trí mặt bằng của điểm tính theo công thức (3.13):

$$m_p = \mu \cdot \sqrt{Q_{xx} + Q_{yy}} \quad (3.13)$$

Tại mỗi điểm của lưới mặt bằng sẽ xác định được một elip sai số, trong đó bán trục lớn a là sai số của hướng có sai số lớn nhất và bán trục nhỏ b là sai số của hướng có sai số nhỏ nhất. Hai hướng này vuông góc với nhau. Góc phương vị của hướng có sai số lớn nhất được kí hiệu là α và được gọi là hướng chính.

$$a = \mu \sqrt{\frac{Q_{xx} + Q_{yy} + P}{2}}, \quad b = \mu \sqrt{\frac{Q_{xx} + Q_{yy} - P}{2}} \quad (3.14)$$

với $P = \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4 \cdot Q_{xy}^2}$

Hướng chính α được tính theo công thức:

$$\tan(2\alpha) = \frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}} \quad (3.15)$$

Hình elip cho chúng ta biết hướng có sai số lớn nhất, hướng có sai số nhỏ nhất và tình trạng phân bố sai số vị trí điểm của lưới.

Sai số trung phương chiều dài cạnh được tính theo công thức:

$$m_s = \mu \sqrt{Q_s} \quad (3.16)$$

với

$$Q_s = F_s^T Q_{4 \times 4} F_s$$

$$F_s^T = [-\cos \alpha_{ki} \quad -\sin \alpha_{ki} \quad \cos \alpha_{ki} \quad \sin \alpha_{ki}]$$

Sai số trung phương phương vị cạnh được tính theo công thức:

$$m_\alpha = \mu \sqrt{Q_\alpha} \quad (3.17)$$

với

$$Q_\alpha = F_\alpha^T Q_{4 \times 4} F_\alpha$$

$$F_S^T = [a_{ki} \quad b_{ki} \quad -a_{ki} \quad -b_{ki}]$$

$Q_{4 \times 4}$ là ma trận con gồm các hệ số trọng số x, y của điểm k và i lấy từ ma trận nghịch đảo của ma trận hệ số phương trình chuẩn.

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

Theo quy trình ở mục 3.2.2, từ các trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh, thực hiện các bước của bài toán bình sai sẽ nhận được kết quả là tọa độ các điểm trong hệ tọa độ địa diện chân trời. Để phù hợp với thực tiễn công tác xây dựng của từng công trình, 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'). Hệ tọa độ địa diện quy ước có các trục x', y' trùng với hướng trục chính công trình. Góc xoay α và các hằng số cộng C_x, C_y (hằng số dịch gốc) giữa hai hệ tọa độ được xác định thông qua bài toán tính chuyển tọa độ Helmert với các điểm song trùng. Sau đó, lần lượt tất cả các điểm lưới được tính chuyển về hệ tọa độ công trình theo công thức:

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

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

Ở mục 3.2.2 là thuật toán bình sai lưới gồm trị đo mặt đất và trị đo GNSS với một điểm trong lưới được chọn làm gốc, tức là đã coi điểm được chọn có tọa độ cố định, không có sự thay đổi theo thời gian. Lưới được cố định một điểm gốc là lưới tự do bậc 0. Phạm vi nghiên cứu của luận án là ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng công trình, lưới cố định một điểm gốc bộc lộ một số hạn chế khi đo đạc nhiều chu kỳ. Do vị trí điểm gốc có khả năng thay đổi theo thời gian, nếu không phát hiện được trong quá trình xử lý số liệu sẽ rất nguy hiểm trong quá trình xây dựng. Lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh được coi là tự do hoàn toàn khi $d_{\max} = 7$. 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 để xử lý số liệu lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình.

Bài toán bình sai lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh theo phương pháp tự do ($d = 3$) có các bước tương tự như bài toán bình sai lưới có một điểm gốc. Điểm khác biệt là ta coi toàn bộ các điểm trong lưới đều là điểm cần xác định. Ấn số là số hiệu chỉnh tọa độ của tất cả các điểm trong lưới. Do đó, khi giải hệ phương trình chuẩn sẽ không tiến hành được theo cách thông thường, ma trận chuẩn R bị suy biến với $\det(R) = 0$. Để giải được hệ phương trình chuẩn có ma trận R suy biến, cần bổ sung hệ d phương trình:

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

Từ đó lập hệ phương trình chuẩn dưới dạng ma trận khối theo công thức:

$$\begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b \\ L_C \end{pmatrix} = 0 \quad (3.20)$$

Ma trận $R_C = \begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix}$ không suy biến. Như vậy sẽ tồn tại ma trận nghịch đảo:

$$R_C^{-1} = \begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} R^{\sim} & T \\ T^T & 0 \end{pmatrix}. \quad (3.21)$$

Trong đó R^{\sim} là ma trận nghịch đảo tổng quát có thể tính theo công thức:

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

ở đây

$$T = B \cdot (C^T B)^{-1}. \quad (3.23)$$

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.

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

Với lưới không gian, chọn ma trận B như sau:

$$B = (B_1 \dots \dots B_k)^T \quad (3.24)$$

Thuật toán bình sai tự do cũng cho phép chúng ta chọn một số điểm nhất định trong lưới làm điểm định vị. Sau khi tính được ma trận chuẩn giả nghịch đảo R^{-} , các bước tiếp theo giống như bài toán cố định một điểm gốc trình bày ở mục 3.2.2. Thuật toán đề xuất ở mục 3.3. này đã được sử dụng để xử lý lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh phục vụ xây dựng nhà cao tầng trong các chu kì trình bày ở chương 4. Từ đó, khẳng định ưu điểm so với phương án xử lý số liệu này trong xây dựng công trình.

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

Lưới không gian mặt đất - vệ tinh được thành lập với hai dạng trị đo: trị đo mặt đất và trị đo vệ tinh. Trị đo mặt đất là một hoặc đồng thời các trị đo: khoảng cách nghiêng, góc ngang, góc thiên đỉnh. Trong các mục trước, khi đề cập đến quy trình đo và tính lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh, mới chỉ đề cập với dạng trị đo mặt đất là góc ngang và cạnh nghiêng mà chưa đề cập đến sử dụng góc thiên đỉnh. Thực tế với thông số ngày càng hiện đại của các máy TĐĐT hiện nay, sai số đo góc cỡ $\pm 1''$ hoặc nhỏ hơn, trong một số trường hợp cần thiết có thể đo thêm các góc thiên đỉnh trong lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh.

Ưu điểm của việc đo thêm trị đo góc thiên đỉnh là:

- Tăng thêm số trị đo thừa trong lưới,
- Có thêm giá trị chênh cao lượng giác để so sánh với giá trị chênh cao GNSS.
- Trị đo góc ưu tiên trong lưới không gian với trường hợp các điểm có chênh lệch độ cao lớn là đo góc thiên đỉnh. Vì khi độ nghiêng tia ngắm lớn thì sai số của hướng ngang và góc ngang sẽ đạt giá trị đáng kể. Nên hạn chế sử dụng trị đo góc ngang giữa các điểm có chênh lệch độ cao lớn [24].

Nhược điểm của việc đo thêm trị đo góc thiên đỉnh là:

- Việc bố trí đo góc thiên đỉnh trong điều kiện xây dựng không phải lúc nào cũng thật sự thuận tiện, đảm bảo thông hướng.

- Quy trình đo phải tuân thủ chặt chẽ để đảm bảo độ chính xác, góc thiên đỉnh phải được đo cả chiều đi và về (thay đổi vị trí đặt máy và điểm ngắm).

- Đặc biệt là đo góc thiên đỉnh bị ảnh hưởng bởi nhiều nguồn sai số hệ thống, chủ yếu là sai số chiết quang. Nếu không có các biện pháp loại bỏ sai số hệ thống trong góc thiên đỉnh thì có thể làm giảm độ chính xác của lưới. Các sai số hệ thống này, mà đặc biệt là sai số do chiết quang, không thể hạn chế hết trong quá trình đo đạc nên vẫn tồn tại trong kết quả đo góc đứng trước khi đưa vào bài toán bình sai chung. Do vậy cũng giống như trị đo góc bằng, khi đưa vào xử lý số liệu cần linh hoạt trong việc có sử dụng hay không các kết quả đo góc thiên đỉnh.

Để nâng cao độ chính xác đo thiên đỉnh, đã có một số nghiên cứu về việc kiểm định máy trước khi đo đạc như [37] nhằm hiệu chỉnh các sai số hệ thống vào kết quả đo. Phân tích về ảnh hưởng của các sai số hệ thống trong kết quả đo góc đứng và đo góc ngang cũng được đề cập đến trong nghiên cứu [43]. Hầu hết các nghiên cứu đã có đều tập trung vào hạn chế sai số hệ thống trước khi tiến hành đo góc mà chưa có phương án phát hiện sai số này trong kết quả đo. Trong khi, sai số do chiết quang trong đo góc thiên đỉnh thì không thể tránh khỏi và luôn tồn tại trong kết quả đo góc thiên đỉnh mà không thể xử lý triệt để trước bình sai.

Dựa vào các phân tích trên, nhận thấy trị đo góc thiên đỉnh là dạng trị đo nên có nhưng không bắt buộc trong lưới không gian cạnh ngắn kết hợp mặt đất - vệ tinh. 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. Thuật toán có khả năng phát hiện ra giá trị của sai số hệ thống tồn tại trong kết quả đo góc thiên đỉnh được kết hợp trong quá trình xử lý số liệu lưới không gian mặt đất - vệ tinh.

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, ký hiệu là x . Kết quả của bài toán bình sai sẽ cho chúng ta giá trị sai số hệ thống x của trị đo. Xét tổng quát, sai số hệ thống được gây ra bởi nhiều nguyên nhân, tùy vào

nguyên nhân gây ra mà sai số hệ thống có thể phụ thuộc hoặc không phụ thuộc vào khoảng cách đo. Tuy nhiên trong phạm vi xây dựng công trình, các trị đo khoảng cách gần và xấp xỉ nhau nên có thể coi sai số hệ thống của các góc thiên đỉnh có cùng giá trị. Khi này phương trình số hiệu chỉnh kèm ẩn số x , là sai số hệ thống, đối với góc thiên đỉnh Z_{ik} có dạng như công thức:

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

$$\text{với: } A_{ik} = -\rho \frac{x_k^o - x_i^o}{S_{ik}^{o2}} \cdot \cot gZ_{ik}; \quad B_{ik} = -\rho \frac{y_k^o - y_i^o}{S_{ik}^{o2}} \cdot \cot gZ_{ik}; \quad C_{ik} = \rho \frac{D_{ik}^o}{S_{ik}^{o2}}$$

$$A_{ki} = -A_{ik}; \quad B_{ki} = -B_{ik}; \quad C_{ki} = -C_{ik}; \quad D_{ik}^o = \sqrt{(x_k^o - x_i^o)^2 + (y_k^o - y_i^o)^2};$$

$$l_{Z_{ik}} = Z_{ik}^o - Z_{ik}^{do}; \quad \cot gZ_{ik}^o = \frac{z_k^o - z_i^o}{D_{ik}^o}.$$

Chỉ số “0” ở phía trên thể hiện trị gần đúng của các tọa độ.

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

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

Trong đó: $x_{Z_{ik}}$ là sai số hệ thống của trị đo góc thiên đỉnh giữa 2 điểm i và k , có giá trị phụ thuộc vào giá trị đo cạnh ngang D_{ik} .

Như vậy, vẫn với quy trình xử lý số liệu như đề cập ở mục 3.2 và 3.3, chỉ thêm phương trình số hiệu chỉnh góc thiên đỉnh theo công thức (3.25) hoặc (3.26). Kết thúc bài toán bình sai kết hợp, nhận được ngay giá trị ẩn x là sai số hệ thống trong đo góc thiên đỉnh Z . Từ giá trị x , đánh giá được chất lượng đo góc thiên đỉnh của lưới. Có thể cải chính giá trị x vào kết quả đo góc thiên đỉnh để tăng độ chính xác của công tác xử lý số liệu. Sau khi cải chính số liệu, bài toán bình sai được tiến hành lại từ đầu nhằm đảm bảo độ tin cậy của kết quả bình sai lưới. Các thực nghiệm xử lý số liệu

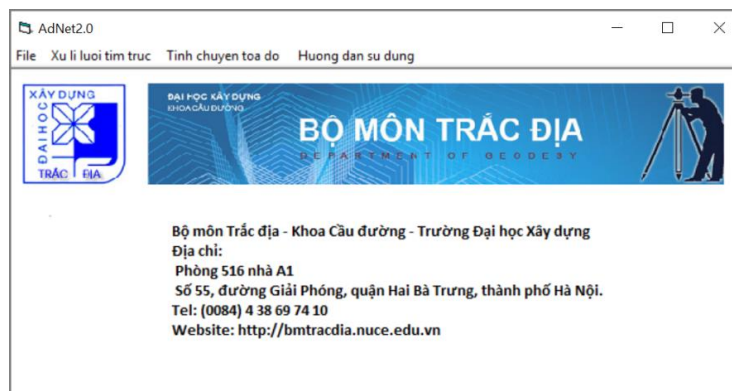
đánh giá thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc nghiêng được trình bày ở chương 4 phần nào minh chứng được tính thuyết phục của thuật toán.

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

Xử lý số liệu lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh qua nhiều bước khá phức tạp. Số lượng ẩn số lớn do là lưới không gian, số lượng trị đo nhiều nên việc tính toán ma trận bằng phần mềm tính như Excel cũng mất thời gian và dễ nhầm lẫn. Mặt khác, yêu cầu của công trình cần có kết quả tính nhanh chóng để đáp ứng tiến độ thi công, việc xử lý số liệu lặp lại ở các chu kì. Đặc biệt trong xây dựng nhà siêu cao tầng, chuyển trục lên tầng cần xử lý số liệu lặp đi lặp lại với mỗi phân đoạn 10 ÷ 15 tầng. Vì vậy, để đáp ứng nhu cầu theo kịp tiến độ sản xuất, tiết kiệm thời gian, công sức và đảm bảo tính chính xác khi tính toán, cần có một phần mềm có khả năng tính toán bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh phục vụ xây dựng công trình. Qua thời gian nghiên cứu, tác giả luận án đã xây dựng được một phần mềm có chức năng tính toán bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh và một số chức năng xử lý số liệu khác nhằm phục vụ công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng với tên phần mềm là AdNet2.0. Phần mềm được bằng với ngôn ngữ Visual Basic.

* *Giao diện:*

Chương trình AdNet2.0 có giao diện như hình 3.2.

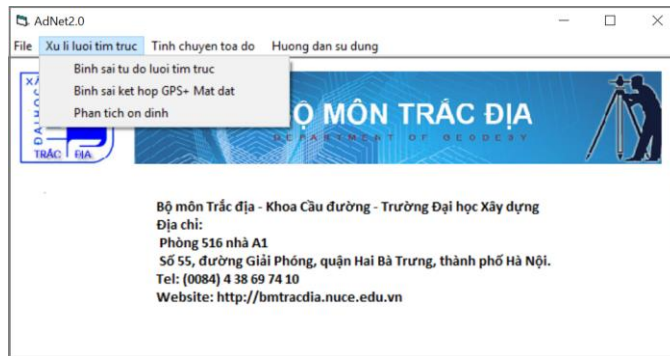


Hình 3.2. Giao diện chương trình AdNet2.0

* *Chức năng:*

Các chức năng của chương trình nhằm xử lý số liệu lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh và một số chức năng phục vụ công tác xử lý số liệu khi chuyển trực lên tầng nhà có ứng dụng TĐĐT và GNSS.

1. Chức năng xử lý số liệu lưới (hình 3.3)

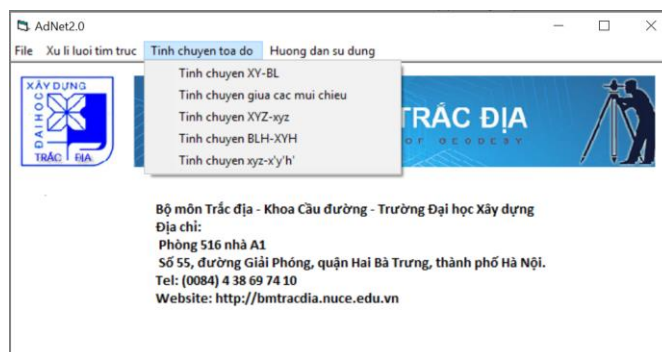


Hình 3.3. Giao diện “Xử lý số liệu lưới” của chương trình AdNet2.0

- Bình sai tự do lưới chuyển trục trong mặt phẳng.
- Bình sai lưới chuyển trục và lưới định vị đo kết hợp mặt đất - vệ tinh trong mặt phẳng hoặc không gian. Với hai phương án lựa chọn: bình sai cố định một điểm góc hoặc bình sai tự do số khuyết dương. Trị đo mặt đất bao gồm các loại trị đo: cạnh nghiêng, góc nghiêng, góc ngang.
- Bình sai lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh kèm phát hiện sai số hệ thống cho góc nghiêng.

- Phân tích độ ổn định lưới định vị.

2. Chức năng tính chuyển tọa độ (hình 3.4)



Hình 3.4. Giao diện “Tính chuyển tọa độ” của chương trình AdNet2.0

- Tính chuyển XY - BL.
- Tính chuyển giữa các múi chiếu.
- Tính chuyển XYZ - xyz.
- Tính chuyển BLH - XYZ.
- Tính chuyển xyz - x'y'h'.

* Quy cách viết file số liệu:

Quy cách file số liệu lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh như sau:

BINH SAI GNSS - MAT DAT LUOI THUC NGHIEM THACH BAN

(tên lưới)

1 6 15 8 6 1.0 1 1.5 3 0.1

(số điểm góc 1, số điểm cần xác định 6, số góc đo 15, số cạnh đo 8, sai số đo góc 1.0, hệ số a đo cạnh 1, hệ số b đo cạnh 1.5, hệ số a đo GNSS 3, hệ số b đo GNSS 0.1)

105 00 00 0.9999

(B, L, H, tỉ lệ biến dạng của múi chiếu)

C2 2325142.715 593812.068 17.571

(tên điểm gốc, X (m), Y (m), H (m))

1 2 -15.891 -5.726 3.008 0.0000003436 -0.0000003831 -
0.0000001048 0.0000019558 0.0000005538 0.0000005001

(tên điểm đầu, tên điểm cuối cạnh GNSS, ΔX , ΔY , ΔZ , 6 giá trị ma trận M đo GNSS)

3 1 23.785 14.483 -19.251 0.0000001384 -0.0000001238 -
0.0000000380 0.0000005057 0.0000001354 0.0000001361

1 4 -9.802 -13.157 25.89 0.0000002862 -0.0000003231 -
0.0000000990 0.0000013802 0.0000002908 0.0000003137

3 2 7.893 8.753 -16.243 0.0000003449 -0.0000003872 -
0.0000001034 0.0000019999 0.0000005779 0.0000005146

4 2 -6.089 7.43 -22.882 0.0000003747 -0.0000003666 -
 0.0000000986 0.0000017815 0.0000004740 0.0000004845
 3 4 13.982 1.323 6.639 0.0000002848 -0.0000003218 -
 0.0000000998 0.0000013709 0.0000002929 0.0000003180
 1 C1 208.056 7.861 -104.855 0.0000004061 -0.0000002169 -
 0.0000000798 0.0000010838 0.0000004177 0.0000005085
 1 C2 168.032 32.177 -193.976 0.0000004093 -0.0000002804 -
 0.0000001362 0.0000014967 0.0000004061 0.0000002946
 1 C3 -92.298 -74.5 -129.382 0.0000006645 -0.0000004312 -
 0.0000000483 0.0000014609 0.0000004850 0.0000008476
 3 C1 231.841 22.342 -124.108 0.0000005254 -0.0000003651 -
 0.0000000755 0.0000012242 0.0000004896 0.0000005547
 3 C2 191.818 46.661 -213.228 0.0000004069 -0.0000002571 -
 0.0000001367 0.0000014232 0.0000004035 0.0000002995
 3 C3 -68.514 -60.02 -148.636 0.0000003868 -0.0000003470 -
 0.0000000509 0.0000011079 0.0000002653 0.0000002461
 C3 C1 300.356 82.36 24.528 0.0000005116 -0.0000003622 -
 0.0000000473 0.0000013046 0.0000003639 0.0000005439
 C3 C2 260.333 106.679 -64.594 0.0000004872 -0.0000003815 -
 0.0000001620 0.0000021614 0.0000004621 0.0000003152
 C2 C1 40.022 -24.316 89.122 0.0000004451 -0.0000003370 -
 0.0000001456 0.0000016967 0.0000004803 0.0000003326
 2 4 1 34 01 00
 (tên điểm trái, tên điểm giữa , tên điểm phải của góc đo , giá trị góc đo)
 3 4 2 53 53 00
 4 1 3 27 17 40

4 1 2 54 00 45
 1 2 4 91 58 25
 1 2 3 130 40 40
 2 3 1 22 36 10
 2 3 4 87 24 20
 1 2 17.157

(tên điểm đầu, điểm cuối của cạnh đo, giá trị cạnh đo (m))

1 3 33.853
 1 4 30.653
 2 3 20.069
 2 4 24.815
 3 4 15.535

Tất cả các tính toán thực nghiệm trong luận án đều sử dụng phần mềm AdNet2.0. Qua thử nghiệm các chức năng tính toán của chương trình với nhiều sơ đồ lưới khác nhau kết luận được rằng: kết quả tính bằng tay qua Excel và kết quả tính bằng chương trình là đồng nhất với nhau. Kết quả của chương trình hoàn toàn tin cậy được. Kết quả cụ thể tính toán bài toán bình sai lưới kết hợp mặt đất - vệ tinh bằng chương trình AdNet2.0 được thể hiện trong các phụ lục 1, 2, 3, 4.

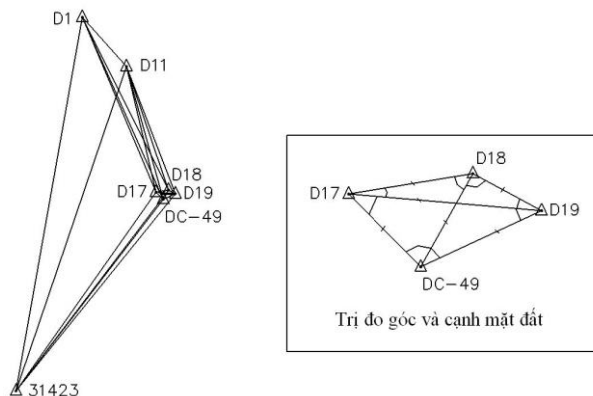
3.6. Thực nghiệm xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh trong xây dựng công trình bằng phần mềm AdNet2.0

3.6.1. Giới thiệu về công trình và lưới thực nghiệm

Thủy điện Nho Quế 3 thuộc nhóm các thủy điện trên sông Nho Quế, tỉnh Hà Giang, có công suất 110 MW, đặt tại hai xã Lũng Pù và Sơn Vĩ, huyện Mèo Vạc. Thủy điện Nho Quế 3 khởi công xây dựng năm 2007, hoàn thành năm 2012, chủ đầu tư là Công ty cổ phần Bitexco - Nho Quế. Nhà máy có 3 tổ máy với sản lượng trung

binh 600 triệu KW/h. Đây là một dự án thủy điện lớn thuộc Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia giai đoạn 2006 - 2015. Theo các chuyên gia, đây là một dự án có điều kiện thi công đặc biệt khó khăn, nằm trong khu vực cũng đặc biệt khó khăn. Địa hình khu vực này là những vách núi cao, sườn dốc, đường nối các khu vực đầu mối và kênh dẫn nước vào tổ máy được thi công dọc bờ bên phải sông.

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 lắng lòng hồ. Các điểm mốc nhà nước thuộc lưới quốc gia ở xã Khâu Vai đều nằm ở những độ cao trên 1200 m. Khu vực nhà máy cao có độ cao khoảng 300 m, khu vực đập chắn có độ cao 350 m. Từ bản vẽ thiết kế các hạng mục công trình, điều kiện địa hình và các yêu cầu kỹ thuật, nhiệm vụ của công tác trắc địa, lưới khống chế được thành lập gồm 7 điểm mốc như hình 3.5. Điểm D1 thuộc khu vực đầu mối, các điểm D17, D18, D19, DC-49 nằm trên khu vực tuyến đập và kênh dẫn nước, điểm 31423 là điểm khống chế hạng IV nhà nước. Tất cả các điểm được đo bằng công nghệ GNSS. Riêng 4 điểm thuộc khu vực tuyến đập D17, D18, D19, DC-49 nằm gần nhau được đo thêm trị đo mặt đất (8 góc và 6 khoảng cách) bằng máy TĐĐT để nâng cao độ chính xác phục vụ công tác quan trắc chuyển dịch đập.



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

Thông số của mạng lưới, tọa độ điểm gốc và kết quả, đo góc, đo cạnh TĐĐT, đo GPS trong lưới được đưa ra trong các bảng 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 và 3.5.

Bảng 3.1. Thông số của mạng lưới

STT	Tên tham số	Giá trị	STT	Tên tham số	Giá trị
1	Tổng số điểm	7	7	Sai số đo góc	1"
2	Số điểm gốc	1	8	Sai số đo cạnh	$1+2.10^{-6}D$
3	Số điểm mới	6	9	Hệ tọa độ	Địa diện
4	Số góc đo TĐĐT	8	10	Dạng lưới	Không gian mặt đất - vệ tinh
5	Số cạnh đo TĐĐT	6			
6	Số trị đo GPS	20			

Bảng 3.2. Tọa độ điểm khởi tính

Số TT	Tên điểm	Tọa độ		Độ cao H (m)	Cấp, Hạng
		x (m)	y (m)		
1	No.31423	2557489.85	550200.832	1244.24	IV

Bảng 3.3. Kết quả đo góc

TT	Ký hiệu góc			Góc đo (o ' ")	TT	Ký hiệu góc			Góc đo (o ' ")
	Trái	Giữa	Phải			Trái	Giữa	Phải	
1	D18	DC49	D19	35 53 11	5	DC49	D18	D17	51 41 58
2	D17	DC49	D18	73 49 30	6	D19	D18	DC49	90 47 04
3	D19	D17	DC49	40 16 55	7	DC49	D19	D17	30 00 22
4	D18	D17	D19	14 11 37	8	D17	D19	D18	23 19 23

Bảng 3.4. Kết quả đo cạnh

Số TT	Ký hiệu cạnh		Cạnh đo (m)	Số TT	Ký hiệu cạnh		Cạnh đo (m)
	Đầu	Cuối			Đầu	Cuối	
1	D17	D18	202.313	11	D18	D19	125.293
2	D17	D19	311.192	12	D18	DC-49	171.442
3	D17	D19	165.313	13	D19	DC-49	213.726

Bảng 3.5. Kết quả đo GPS

Số TT	Ký hiệu cạnh		ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
	Đầu	Cuối			
1	D1	31423	155.4664	3327.7934	-5167.2435
2	D11	31423	926.8365	3219.9476	-4431.6318
3	D17	31423	1597.7921	2595.7835	-2587.2432
4	D18	31423	1786.2347	2663.0043	-2617.2522
5	D19	31423	1902.6354	2657.4766	-2568.7320
6	DC-49	31423	1727.5581	2565.7542	-2487.2714
7	D1	D11	-771.3661	107.8484	-735.6107
8	D1	D17	-1442.3244	732.0092	-2580.0033
9	D1	D18	-1630.7714	664.7844	-2549.9952
10	D1	DC-49	-1572.0955	762.0398	-2679.9744
11	D11	D17	-670.9532	624.1636	-1844.3012
12	D11	D18	-859.4032	556.9432	-1814.3809
13	D11	D19	-975.8037	562.4713	-1862.8978
14	D11	DC-49	-800.7249	654.1943	-1944.3598
15	D17	D18	-188.4428	-67.214	30.0079
16	D17	D19	-304.8442	-61.6913	-18.5091
17	D17	DC-49	-129.7654	30.0322	-99.9710
18	D18	D19	-116.411	5.5321	-48.5170
19	D18	DC-49	58.6778	97.2526	-129.9779
20	D19	DC-49	175.0781	91.7223	-81.4620

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

Lưới không chế trắc địa phục vụ quan trắc dịch chuyển ngang và lún để đánh giá độ ổn định công trình, đồng thời xác định bồi lắng lòng hồ tại công trình thủy điện Nho Quế là dạng lưới kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh. Lý do xây dựng lưới này có cả

trị đo mặt đất lẫn trị đo vệ tinh là chính là bởi đặc thù địa hình phức tạp và khó khăn của khu vực. Điểm khống chế nhà nước trong khu vực đều nằm ở những vị trí rất cao (khoảng 1200 m) so với độ cao công trình (khoảng 300 m), địa hình gập ghềnh, không đảm bảo thông hướng, nên sử dụng GNSS để kết nối các điểm. Tại khu vực tuyến đập cần xây dựng một số điểm khống chế ở gần nhau, nằm ở 2 phía của tuyến đập để phục vụ quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình vì vậy sử dụng máy TĐĐT đo các trị đo góc, cạnh mặt đất. 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 là hợp lý. Trong lưới có đo nối một điểm mốc quốc gia, lưới được bình sai theo phương án bình sai cố định một điểm gốc.

Bảng 3.6. Kết quả tọa độ bình sai trong hệ địa diện

Số TT	Tên điểm	Tọa độ địa diện			Sai số vị trí điểm (m)		
		x (m)	y (m)	z (m)	Mx	My	Mp
1	D1	2563481.373	551266.996	370.326	0.001	0.001	0.002
2	D11	2562680.698	551978.812	372.272	0.001	0.001	0.001
3	D17	2560676.267	552451.871	369.919	0.001	0.001	0.002
4	D18	2560708.855	552651.54	370.012	0.001	0.001	0.002
5	D19	2560649.557	552761.914	385.341	0.001	0.001	0.002
6	DC49	2560558.954	552568.344	390.093	0.001	0.001	0.002
7	No.31423	2557489.850	550200.832	1244.240	0.0015	0.002	0.002

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 quả xử lý số liệu lưới thực nghiệm bằng phần mềm AdNet2.0 trình bày trong phụ lục 1. Tọa độ sau bình sai và đánh giá độ chính xác các yếu tố trong lưới được trình bày ở bảng 3.6 và 3.7. Kết quả bình sai cho thấy lưới xây dựng đảm bảo độ chính xác yêu cầu của công việc. Từ kết quả xây dựng lưới thực nghiệm và xử lý số liệu cho thấy phương pháp bình sai kết hợp lưới không gian cạnh ngắn mặt đất vệ tinh phù hợp với công trình có chiều cao lớn.

Kết quả tính bằng phần mềm cũng được so sánh với kết quả tính tay và nhận thấy hai kết quả này là đồng nhất và trùng khớp với nhau. Vậy, kết quả của chương trình hoàn toàn tin cậy được.

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. Nên đo trị đo góc thiên đỉnh trong lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh nếu điều kiện công trình cho phép.

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 trình đã được sử dụng trong các thực nghiệm chương 4.

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 TRỰC 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 trực lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng

4.1.1. Công tác chuyển trực lên nhà siêu cao tầng

Nhà cao tầng là loại hình đặc biệt của công trình dân dụng được xây dựng tại các thành phố và khu đô thị lớn. Định nghĩa về nhà cao tầng khác nhau tùy theo từng quốc gia và khu vực. Ở nước ta hiện nay nhà cao tầng phân loại như sau [29]:

- Cao tầng loại 1: Từ 9 tầng đến 16 tầng (cao nhất 50m)
- Cao tầng loại 2: Từ 17 tầng đến 25 tầng (cao nhất 75m)
- Cao tầng loại 3: Từ 26 tầng đến 40 tầng (cao nhất 100m)
- Cao tầng loại 4: Từ 40 tầng trở lên gọi là siêu cao tầng.



Hình 4.1. Tòa nhà Keangnam Hà Nội và Landmark 81 Hồ Chí Minh

Nhiệm vụ chính của công tác trắc địa trong thi công nhà 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 cao tầng là phải đảm bảo độ thẳng đứng của công trình. Với

số tầng không quá cao, có thể chuyển trục lên tầng bằng một số các phương pháp truyền thống như: phương pháp dây dọi (dưới 5 tầng), phương pháp dùng mặt phẳng ngắm của máy kinh vĩ hoặc máy TĐĐT (dưới 10 tầng), phương pháp dùng máy chiếu đứng quang học (10 đến 15 tầng). Trong đó máy chiếu đứng quang học có ưu điểm là thao tác đơn giản, nhanh gọn, độ chính xác cao, phù hợp với thực tiễn xây dựng nên phương pháp chiếu đứng hiện nay đang được sử dụng rất rộng rãi khi chuyển trục lên công trình nhà cao tầng. Tuy nhiên khi số tầng lớn thì phương pháp này trở nên hạn chế do khó khăn khi phải đặt lỗ thủng chuyển trục và đảm bảo thông hướng trên sàn tại các vị trí cố định theo chiều cao của tòa nhà, độ phóng đại của ống kính là có hạn chỉ thuận lợi trong khoảng 10 - 15 tầng. Để khắc phục nhược điểm này và hạn chế ảnh hưởng của sai số tích lũy người ta thường áp dụng phương pháp chiếu phân đoạn, nghĩa là chia toàn bộ ngôi nhà ra làm từng đoạn khoảng 10 ÷ 15 tầng. Tầng cuối cùng của đoạn này sẽ là tầng khởi đầu của đoạn tiếp theo. Nhược điểm của phương pháp phân đoạn là sự tích lũy sai số chiếu qua các phân đoạn và ảnh hưởng của ngoại cảnh theo chiều cao ngôi nhà. Giải pháp khắc phục nhược điểm của phương pháp phân đoạn khi áp dụng với công trình có số tầng lớn là tiến hành đo đạc lại nhằm chính xác hóa lưới khống chế khung (hình chiếu của lưới khống chế cơ sở trên các tầng được chiếu lên bằng máy chiếu đứng) ở vị trí khởi đầu của mỗi đoạn chiếu [23]. Một trong những phương pháp phù hợp để chính xác hóa lưới khống chế đầu mỗi phân đoạn chiếu là đo GNSS kết hợp TĐĐT trên tầng cao. Giải pháp này sẽ được trình bày cụ thể ngay sau đây.

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

Dựa vào tiêu chuẩn 9364 : 2012 “Nhà cao tầng - Kỹ thuật đo đạc phục vụ thi công” [29], theo nghiên cứu phân tích trong [23] và từ các nghiên cứu đã được công bố của chúng tôi, xác định được độ chính xác yêu cầu đối với lưới khống chế trên

mặt bằng cốt 0,0 để đảm bảo công tác bố trí trục của các kết cấu xây dựng là xấp xỉ ± 2 mm.

Theo truyền thống, lưới phục vụ công tác chuyển trục gồm 2 cấp: lưới định vị và lưới chuyển trục. Nếu chọn hệ số suy giảm độ chính xác giữa các cấp lưới $k = 2$ thì độ chính xác cần thiết thành lập lưới định vị sẽ được tính như sau:

$$m_{đv} = \frac{2}{\sqrt{1+2^2}} = \pm 0.9(\text{mm}) \quad (4.1)$$

Với điều kiện thực tế ngoài công trường thì khó có thể đạt được độ chính xác như trên. Áp dụng công nghệ GNSS ta có thể ghép hai bậc lưới trên thành một bậc lưới thống nhất, mạng lưới sẽ bao gồm các điểm định vị và các điểm chuyển trục như hình 4.2, được đo đồng thời và xử lý số liệu đồng bộ trong lưới một cấp. Lưới một cấp ưu điểm hơn lưới 2 cấp ở chỗ không cần quan tâm đến sai số số liệu góc [18]. Như vậy nếu xây dựng lưới khống chế một cấp, sai số trung phương của lưới kết hợp 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 chiều

Lưới khống chế tại tầng đầu tiên mỗi phân đoạn chiều (10 ÷ 15 tầng mỗi phân đoạn) là hình chiếu của lưới khống chế tim trục tại cốt 0,0. Sai số của lưới khống chế tại tầng đầu tiên mỗi phân đoạn chiều sẽ tăng lên và phụ thuộc vào chiều cao theo số tầng. Hiện nay theo quy định xác định độ nghiêng của công trình theo TCVN 9115 : 2012 về thi công công trình bê tông cốt thép thì độ nghiêng được phép là 1/1000 hoặc không lớn hơn ± 12 mm. Từ đó theo TCVN 9398 - 2012 và TCVN 9400 - 2012, thì sai số giới hạn cho phép theo chiều cao của công trình là $\pm 0.0001 H$ với H là chiều cao của công trình. Vậy, nếu lấy H là chiều cao tầng đầu tiên của phân đoạn chiều, sẽ tính được yêu cầu độ chính xác của lưới khống chế tại tầng này. Từ

đó, thay dung sai xây dựng cho phép vào công thức (1.8) sẽ tính được sai số trung phương lưới khống chế cho phép tại tầng đầu tiên của phân đoạn chiếu:

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

trong đó: m_{kc}^i là sai số trung phương lưới khống chế tại tầng đầu tiên của phân đoạn chiếu thứ i ; H_i là độ cao tầng đầu tiên phân đoạn chiếu thứ i , $H_i = (10 \div 15).i.h$ với h là chiều cao mỗi tầng.

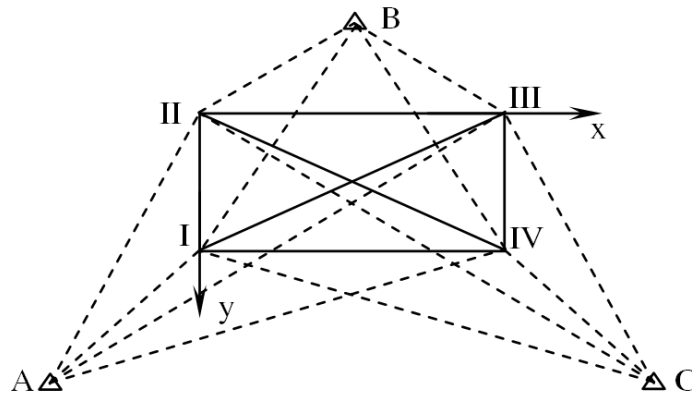
4.1.3. Quy trình chuyển trục lên sàn xây dựng trong thi công nhà siêu cao tầng có ứng dụng TĐĐT và GNSS

Lưới khống chế phục vụ công tác chuyển trục lên nhà siêu cao tầng bao gồm 2 loại lưới: lưới định vị và lưới chuyển trục [26].

Lưới chuyển trục: khi chuyển trục lên tầng, tại mỗi tầng cần xác định điểm giao của các trục chính gọi là điểm tim trục, có tác dụng xác định các trục công trình. Theo lý thuyết công trình phải được xây dựng theo một phương thẳng đứng, nghĩa là các điểm tim trục tại các tầng phải tạo thành đường thẳng đứng. Để thuận tiện và phù hợp với điều kiện thi công xây dựng, không thể chuyển trục tiếp các điểm tim trục lên các tầng, mà cần xây dựng một lưới khác đồng dạng, cùng độ chính xác, nằm gần các điểm lưới tim trục, có thể đặt các máy chiếu đứng, gọi là lưới chuyển trục. Bằng các thiết bị và phương pháp đo thích hợp, chuyển các điểm thuộc lưới chuyển trục lên các tầng thi công. Các điểm tim trục sẽ được bố trí tại từng tầng từ các điểm chuyển trục.

Lưới định vị: khi số tầng xây dựng tăng, để đảm bảo độ chính xác của công tác chuyển trục lên tầng, cần chính xác hóa lưới khống chế đầu mỗi phân đoạn chiếu [23]. Khi sàn cốt 0,0 được xây dựng, các cấu kiện được xây lắp thì đồng thời lưới chuyển trục cũng bị mất. Để định vị công trình và các điểm lưới chuyển trục cần phải xây dựng lưới định vị phục vụ cho công tác trắc địa các giai đoạn sau. Lưới định vị được xây dựng đồng thời với lưới chuyển trục, ngay sau khi chuyển thiết kế công

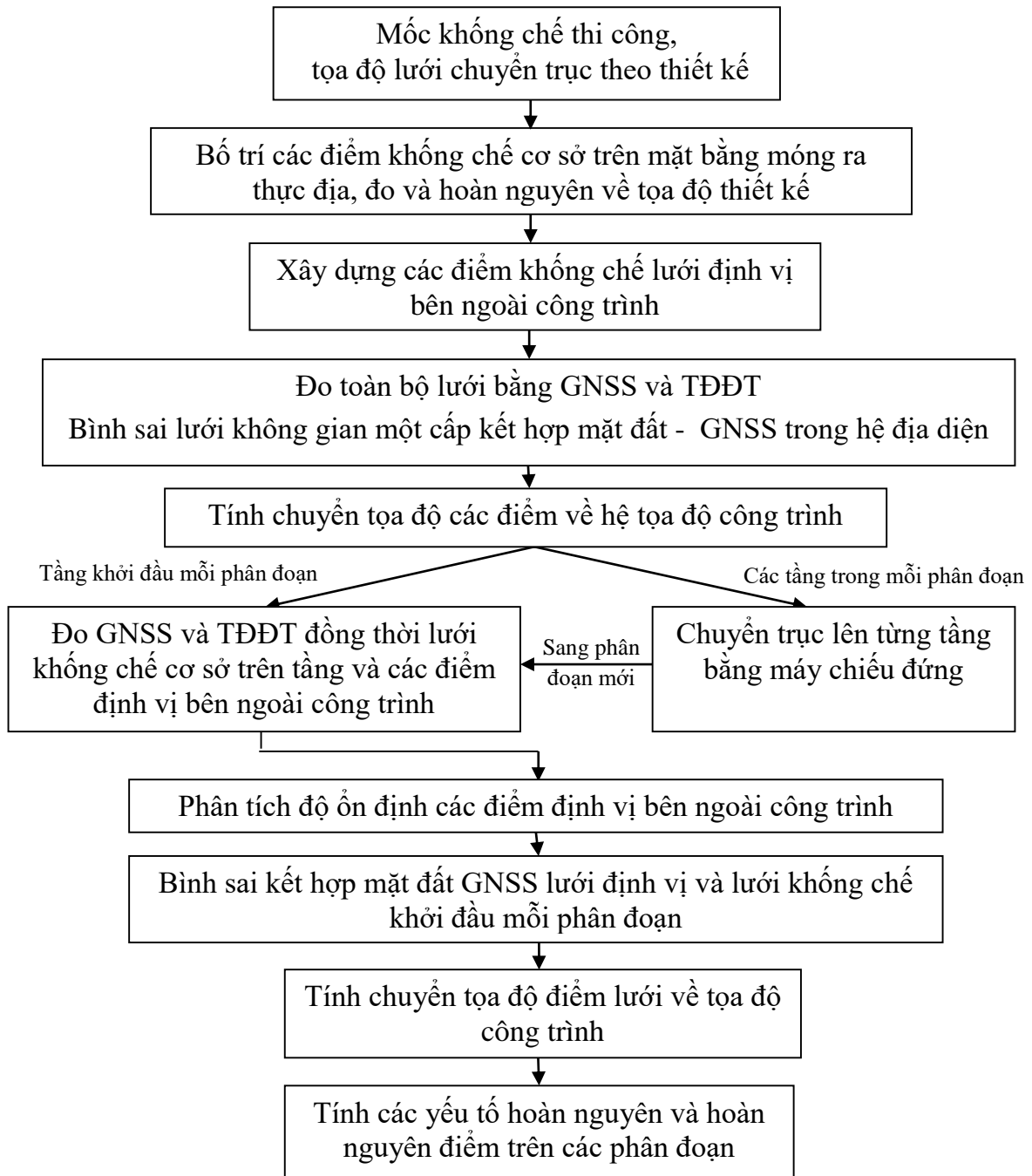
trình ra ngoài thực địa và được hiệu chỉnh trên mặt bằng móng cốt 0,0. Lưới này phải có độ chính xác cao hơn hoặc cùng cấp với lưới chuyển trục. Việc xây dựng lưới có độ chính xác rất cao như thế rất khó thực hiện được. Nếu xây dựng các điểm lưới định vị và các điểm lưới chuyển trục cùng cấp sẽ dễ đảm bảo độ chính xác yêu cầu. Phương pháp đo đặc thích hợp từ điểm không chế định vị lên các điểm chuyển trục trên tầng cao của tòa nhà là đo bằng công nghệ định vị vệ tinh, không yêu cầu thông hướng giữa các điểm, không yêu cầu về góc ngắm, độ chính xác đo chiều dài cạnh khá tốt. Tuy nhiên, khi đo các điểm chuyển trục ở trên cùng sàn tầng, các trị đo TĐĐT là những trị đo trực tiếp, khoảng cách cực ngắn, cho kết quả đáng tin cậy, thực hiện đơn giản hơn. Vì vậy, giải pháp đo GNSS kết hợp TĐĐT để chính xác hóa lưới chuyển trục mỗi đầu đoạn chiếu là hợp lý.



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

Từ lưới chuyển trục và lưới định vị, xây dựng được sơ đồ lưới mặt đất - vệ tinh hiệu quả để chính xác hóa lưới chuyển trục ở đầu mỗi phân đoạn chiếu trong thi công nhà siêu cao tầng nêu ở hình 4.2. Trên hình 4.2 các điểm I, II, III, IV là điểm không chế cơ sở trên mặt bằng móng; A, B, C là ba điểm định vị bên ngoài công trình, được nối với các điểm không chế trên mặt bằng móng bằng trị đo GNSS.

Quy trình chung của công tác chuyển trục lên nhà cao tầng có ứng dụng TĐĐT và GNSS được thể hiện trong hình 4.3.



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

Trong lần đo đầu tiên, sau khi lập xong lưới khống chế cơ sở trên mặt bằng móng (tứ giác trắc địa I-II-III-IV), đặt máy thu GNSS tại tất cả các điểm lưới tiến hành đo theo phương pháp đo tĩnh. Sau đó bình sai lưới 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, sau khi chiếu các điểm I, II, III, IV lên đầu mỗi phân đoạn bằng máy chiếu

đứng, tiến hành đo góc và cạnh lưới tứ giác trắc địa tạo bởi các điểm chiếu bằng máy TĐĐT. Đồng thời đặt máy GNSS tại A, B, C và các điểm chiếu, 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 (đã đề cập trong chương 3), 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 góc thể hiện độ chính xác chuyển trục công trình lên cao. Trường hợp độ lệch này vượt quá hạn sai theo TCVN 9398 : 2012 [31], cần tiến hành hoàn nguyên điểm.

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

Lưới định vị được xây dựng chắc chắn, tại nơi có địa chất ổn định, nằm ngoài phạm vi tác động biến dạng công trình và thoáng đãng, góc ngưỡng vệ tinh đủ nhỏ, không gần điện cao thế hay cột viễn thông, các toà nhà cao tầng. Lưới định vị thường có ít nhất 3 điểm để phân tích độ ổn định. Do không thể chuyển trục tiếp các điểm tìm trục lên các tầng, cần phải xây dựng lưới chuyển trục gần các điểm tìm trục. Lưới này thường có ít nhất là 2 trục (tương ứng với ít nhất 3 điểm hoặc có thể nhiều hơn tùy vào dạng công trình).

Tại cốt 0,0, lưới chuyển trục lên tầng là lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh với bài toán ước tính độ chính xác được trình bày ở dưới đây.

Ước tính lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh

Bước 1: Chọn ẩn số

Ẩn số trong lưới mặt bằng là số hiệu chỉnh tọa độ của các điểm cần xác định, kí hiệu vector ẩn số là x , vector tọa độ gần đúng là X^0 ta có :

$$X = X^0 + x \quad (4.3)$$

Bước 2: Lập ma trận hệ số A của hệ phương trình số hiệu chỉnh

$$V = A.x + L \quad (4.4)$$

Trong đó: A - vector hệ số V - vector số hiệu chỉnh
 L - vector số hạng tự do x - vector ẩn số

Ma trận hệ số A bao gồm: phương trình số hiệu chỉnh trị đo bằng công nghệ GNSS theo công thức (3.1), phương trình số hiệu chỉnh trị đo cạnh nghiêng theo công thức (2.10), phương trình số hiệu chỉnh trị đo góc ngang theo công thức (2.11). Trong bài toán thiết kế lưới, trị đo được giả định bằng trị thiết kế, nên số hạng tự do l trong các phương trình đều bằng 0.

Bước 3: Xác định trọng số của các đại lượng đo dự kiến

Trọng số của các trị đo xác định theo công thức chung

$$P_i = \frac{C}{m_i^2} \quad (4.5)$$

Trong đó: m_i là sai số trung phương của trị đo thứ i ; C là hằng số tùy chọn

- Đối với trị đo góc, trọng số được xác định theo công thức:

$$P_\beta = \frac{C}{m_\beta^2} \quad (4.6)$$

- Đối với trị đo chiều dài cạnh, trọng số được xác định theo công thức:

$$P_s = \frac{C}{m_s^2} \quad (4.7)$$

Trong đó m_β , m_s lần lượt là sai số trung phương đo góc, cạnh lấy theo lý lịch máy hoặc xác định được từ kết quả trung bình đo nhiều lần.

- Đối với trị đo GNSS, trọng số được xác định giống công thức (4.7). Với m_s lấy từ lý lịch máy thu GNSS, D là giá trị gia số tọa độ theo thiết kế.

Bước 4. Lập ma trận hệ số R của hệ phương trình chuẩn:

$$R = A^T P A \quad (4.8)$$

Bước 5: Tính ma trận nghịch đảo

Ma trận nghịch đảo $Q = R^{-1}$ để thực hiện bước đánh giá độ chính xác các yếu

tổ trong lưới và được xác định từ giải hệ phương trình ma trận $R.Q = E$. Còn với lưới tự do, thay cho ma trận nghịch đảo Q cần sử dụng ma trận giả nghịch đảo $R\sim$ được tính theo công thức

$$R\sim = (R + CP_0C^T)^{-1} - TP_0^{-1}T^T \quad (4.9)$$

Với $T = B(C^TB)^{-1}$. Trong đó C là ma trận định vị chọn theo công thức (3.23), B là ma trận không suy biến, thoả mãn điều kiện $AB = 0$, P_0 là ma trận không suy biến tùy chọn.

Bước 6: Tính toán các chỉ tiêu sai số của mạng lưới

Tính sai số trung phương trọng số đơn vị:

$$\mu = \frac{M_{y/c}}{\sqrt{Q_{x(i)} + Q_{y(i)} + Q_{z(i)}}} \quad (4.10)$$

Trong đó: $Q_{x(i)}$, $Q_{y(i)}$, $Q_{z(i)}$ là các phần tử trên đường chéo chính của ma trận trọng số đảo của ẩn số, ứng với điểm yếu nhất của lưới; $M_{y/c}$: là sai số vị trí điểm yếu nhất của lưới do thiết kế đề ra.

Tính độ chính xác cần thiết của các trị đo:

$$m_\beta = \mu \cdot \sqrt{\frac{1}{P_\beta}} = \mu \cdot m'_\beta \quad (4.11)$$

$$m_s = \mu \cdot \sqrt{\frac{1}{P_s}} = \mu \cdot m'_s \quad (4.12)$$

trong đó: m'_β , m'_s là sai số trung phương trị đo dự kiến ban đầu.

Ngoài ra, để đơn giản hóa, thay vì ước tính lưới không gian, có thể ước tính lưới mặt bằng kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh, trong đó coi một cách gần đúng các trị đo GNSS là chiều dài và phương vị cạnh đo độc lập nhau. Khi kết quả ước tính lưới mặt bằng đạt thì chắc chắn lưới không gian sẽ có độ chính xác tốt hơn.

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

Để đảm bảo thành công cho công tác đo GNSS cần phải tiến hành lập kế hoạch đo, cụ thể là xác định thời gian đo tối ưu. Khoảng thời gian tối ưu có thể sử dụng là khoảng thời gian trong đó có số vệ tinh quan trắc đồng thời là tối đa và có PDOP không vượt quá giá trị cho phép. Việc đo đặc trị đo mặt đất trên các sàn tầng cần yêu cầu thao tác cẩn thận, chính xác. Đặc biệt, do số tầng lớn nên sức gió có thể làm dao động chân máy TĐĐT cũng như máy thu GNSS, cần phải có các biện pháp khắc phục thì lưới mới đảm bảo độ chính xác cao như mong muốn.

Lưới không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh tại cốt 0,0 hay trên sàn tầng đầu tiên mỗi phân đoạn chiều đều cần được xử lý số liệu theo phương pháp bình sai tự do lưới không gian số khuyết dương với hệ tọa độ lựa chọn là hệ tọa độ địa diện (thuật toán này đã được trình bày ở chương 3). Kết quả sau bình sai được 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

Các dạng trị đo: khoảng cách, góc và GNSS của lưới không gian cạnh ngắn trước khi đưa vào bài toán bình sai cần được hiệu chỉnh một số nguồn sai số có ảnh hưởng đáng kể để đảm bảo và nâng cao độ chính xác theo yêu cầu thành lập lưới.

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 thu được thông qua xử lý kết quả thu vệ tinh là giá trị cạnh s và phương vị α hoặc gia số tọa độ của các baseline là $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ giữa các điểm đo kèm theo ma trận hiệp phương sai M . Kết quả này đã được hiệu chỉnh chiều cao máy thu tín hiệu vệ tinh. Sai số xác định chiều cao máy thu trên thực tế thường $\leq \pm 1$ mm, có thể bỏ qua.

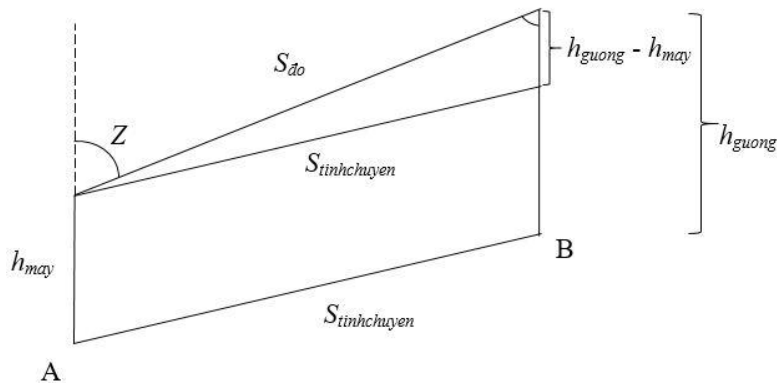
Cạnh đo TĐĐT là khoảng cách nghiêng từ tâm máy tới tâm gương. Cần đảm bảo các trị đo này phải được qui về mốc để khoảng cách đưa vào bình sai là khoảng

cách thực giữa hai điểm đo (hình 4.4). Tức là cần phải hiệu chỉnh giá trị chênh lệch giữa chiều cao máy và chiều cao gương. Trong thực tế dạng lưới chuyển trục lên nhà cao tầng đã đề cập ở các mục trước, trị đo khoảng cách bằng máy TĐĐT được thực hiện giữa các điểm trên cùng sàn tầng thứ i . Khi này, công thức tính chuyển trị đo khoảng cách TĐĐT về tâm mốc và tâm gương như sau [2]:

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

Trong đó:

- $S_{\text{tinhchuyen}}$ là khoảng cách thực giữa hai điểm đo đã được qui về mốc.
- $S_{\text{đo}}$ là khoảng cách nghiêng đo được từ tâm máy tới tâm gương.
- $h_{\text{máy}}$ là chiều cao máy.
- $h_{\text{gương}}$ là chiều cao gương.
- Z là giá trị góc thiên đỉnh đo.



Hình 4.4. Hiệu chỉnh khoảng cách nghiêng

Các hằng số của máy và gương đã được xác định cho mỗi loại thiết bị thông qua kiểm định máy. Sai số xác định chiều cao máy và chiều cao gương trên thực tế là tương đương nhau và thường $\leq \pm 1$ mm. Qua khảo sát nhận thấy sai số xác định chiều cao máy và chiều cao gương ảnh hưởng rất nhỏ tới khoảng cách đo, nhỏ hơn 10^{-3} mm, có thể bỏ qua.

4.2.2. Hiệu chỉnh góc bằng

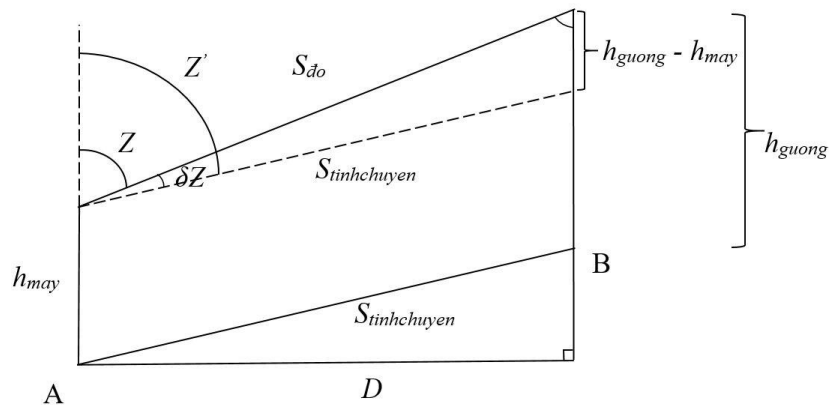
Góc bằng đưa vào bình sai trong hệ tọa độ địa diện chân trời là góc nằm trong mặt phẳng vuông góc với pháp tuyến. Vấn đề tính toán biến dạng góc để cải chỉnh vào góc đo trước khi bình sai kết hợp với trị đo GNSS trong hệ tọa độ địa diện chân trời đã được đề cập trong [14].

Xét trường hợp ứng dụng lưới không gian cạnh ngắn mặt đất - vệ tinh để chuyển trực công trình lên cao trong xây dựng nhà cao tầng, góc bằng được đo bằng máy TĐĐT trong lưới khống chế trắc địa trên sàn tầng ở đầu mỗi phân đoạn chiếu. Các điểm của lưới khống chế trắc địa nằm trên một mặt thủy chuẩn, do đó độ cao địa diện của chúng coi như bằng nhau. Trong trường hợp này, giá trị góc giữ nguyên không thay đổi sau phép chiếu, nghĩa là số hiệu chỉnh để chuyển các góc đo trên sàn thi công về mặt phẳng địa diện xOy bằng 0.

4.2.3. Hiệu chỉnh góc thiên đỉnh

Góc thiên đỉnh đo được Z là góc hợp bởi hướng đỉnh trời (ngược với phương đường dây dọi) và hướng ngắm từ máy tới tiêu. Để quy góc thiên đỉnh đo được về tâm mốc, có giá trị Z' , cần phải hiệu chỉnh độ lệch δZ theo công thức (4.14)

$$Z' = Z + \delta Z \quad (4.14)$$



Hình 4.5. Hiệu chỉnh góc thiên đỉnh

Theo [53], giá trị hiệu chỉnh góc thiên đỉnh đo được về tâm mốc tính theo công thức (4.15):

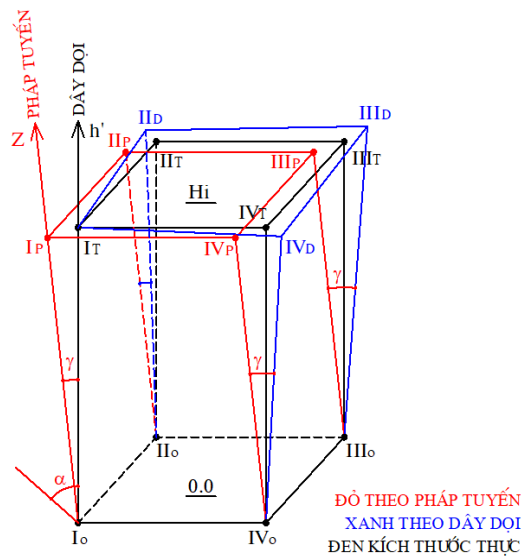
$$\delta z = \frac{(h_{may} - h_{guong})}{D} \sin^2 Z \quad (4.15)$$

Trong trường hợp chiều cao máy và chiều cao tiêu là như nhau thì số hiệu chỉnh góc thiên đỉnh có thể bỏ qua.

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

Như đã trình bày ở chương 2, lưới không gian cạnh ngắn có thể áp dụng để xây dựng nhiều dạng công trình khác nhau, nhưng điển hình nhất vẫn là dạng lưới phục vụ công tác chuyển trục lên sàn xây dựng công trình nhà siêu cao tầng. 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 không chế tầng đầu tiên mỗi phân đoạn chiều với tọa độ của lưới không chế góc trên mặt bằng móng.

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 theo chiều cao

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. Hệ tọa độ địa diện được chọn để thực hiện bài toán bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh được xác định theo phương pháp tuyến. 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 qui chiếu khác nhau, bị lệch theo chiều cao do ảnh hưởng độ lệch dây dọi γ . Mặt phẳng địa diện sẽ nghiêng với mặt thủy chuẩn một góc bằng giá trị độ lệch dây dọi γ (hình 4.6). Trên phạm vi nhỏ của công trình nhà siêu cao tầng, có thể coi vector ảnh hưởng của độ lệch dây dọi tại các điểm I, II, III, IV là như nhau cả về độ lớn và hướng [25].

Độ lệch tọa độ của một điểm, do ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo chiều cao, tỉ lệ thuận với chiều cao công trình và theo hướng của độ lệch dây dọi, tính theo công thức:

$$f_s = \frac{\gamma''}{\rho''} h_i$$

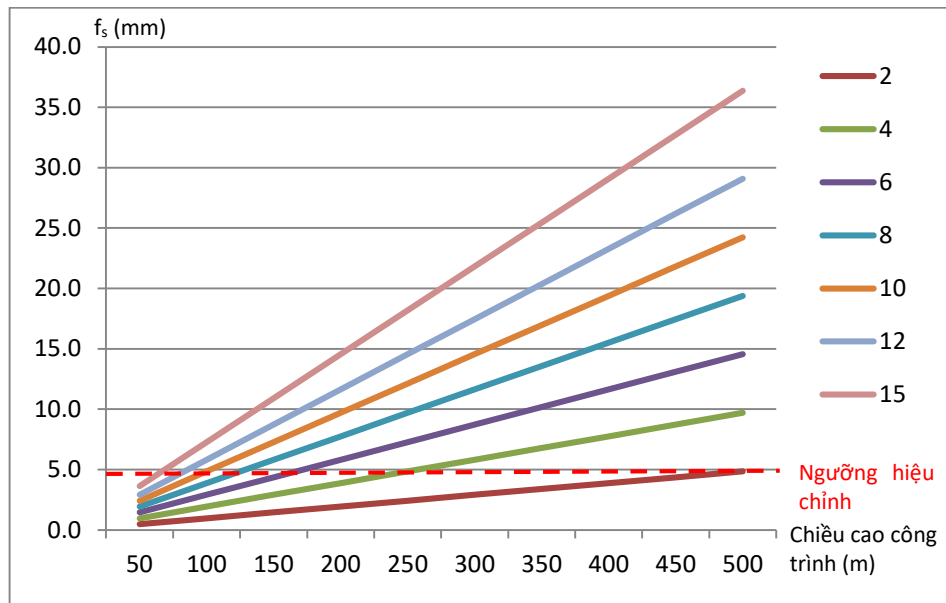
$$\Delta x_j = f_s \cos \alpha$$

$$\Delta y_j = f_s \sin \alpha \quad (4.16)$$

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.

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



Hình 4.7. Biểu đồ ảnh độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình

Bảng 4.1 là kết quả khảo sát ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình tới tọa độ điểm song trùng trong 2 hệ qui chiếu (f_s) tính theo công thức (4.16). Dựa vào kết quả bảng 4.1, lập biểu đồ trên hình 4.7. là đồ thị biểu diễn ảnh 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. Các ảnh hưởng của độ lệch dây dọi theo chiều cao công trình được hiệu chỉnh vào tọa độ công trình $(x', y')_{\text{congtrinh}}$ trên các phân đoạn sau bình sai và chuyển Helmert. Nếu không hiệu chỉnh ảnh hưởng của độ lệch dây dọi khi chuyển tọa độ từ cốt 0,0 lên sàn có chiều cao h_i thì kích thước của công trình không bị thay đổi, nhưng hình dạng của nó bị nghiêng so với phương của lực hút trái đất một lượng bằng f_s và nghiêng một góc bằng độ lệch dây dọi γ với hướng nghiêng α . Để xác định độ lệch dây dọi, trong phạm vi nhỏ của công trình xây dựng nhà siêu cao tầng có thể sử dụng

các trị đo thủy chuẩn hình học và trị đo GNSS tương đối độ chính xác cao, với thuật toán và quy trình nêu trong mục 4.3.3.

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

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 kì trong lưới trên sàn tầng khi chuyển về mặt bằng gốc sẽ có lệch một giá trị ΔS_H theo công thức:

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

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

ΔH (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

Giá trị thay đổi khoảng cách ΔS_h (mm) của khoảng cách S (m) trên mặt bằng móng và trên mặt chiếu có chênh cao ΔH (m) so với mặt bằng móng được tính theo công thức (4.17) nêu ở bảng 4.2. Để đơn giản cho việc hiệu chỉnh độ lệch do ảnh hưởng sự không song song giữa các đường dây dọi vào tọa độ sau bình sai, sử dụng

công thức (4.17) với các đoạn hiệu chỉnh là chiều dài đường chéo, hướng từ điểm chiếu vào tâm (giao của hai đường chéo).

Từ công thức (4.17) ta có:

$$\sqrt{(v_{\delta x})^2 + (v_{\delta y})^2} = \Delta S_H = -\frac{\Delta H}{R_m} \cdot S \quad (4.18)$$

$$\begin{aligned} v_{\delta x} &= \Delta S_H \cdot \cos \alpha \\ v_{\delta y} &= \Delta S_H \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (4.19)$$

trong đó: $v_{\delta x}$, $v_{\delta y}$ là số hiệu chỉnh vào giá số tọa độ giữa điểm đầu và điểm cuối của đường chéo. Coi ảnh hưởng độ lệch là như nhau tới điểm cuối và điểm đầu của đường chéo:

$$v_x^{cuoi} = v_x^{dau} = \frac{v_{\delta x}}{2}; \quad v_y^{cuoi} = v_y^{dau} = \frac{v_{\delta y}}{2} \quad (4.20)$$

trong đó: v_x^{cuoi} , v_x^{dau} , v_y^{cuoi} , v_y^{dau} là các số hiệu chỉnh vào tọa độ x, y của điểm đầu và điểm cuối đường chéo.

Từ (4.18), (4.19), (4.20) ta có:

$$\begin{aligned} v_x^{cuoi} = v_x^{dau} &= \frac{1}{2} \Delta S_H \cdot \cos \alpha \\ v_y^{cuoi} = v_y^{dau} &= \frac{1}{2} \Delta S_H \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (4.21)$$

Với α là phương vị của độ lệch, được tính là hướng từ điểm xét tới điểm giao giữa hai đường chéo trong lưới tứ giác.

Kết quả khảo sát ở bảng 4.2 cho thấy khoảng cách (kích thước công trình) 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. Ảnh hưởng này tỉ lệ thuận với chiều cao công trình. Ảnh hưởng do độ không song song của đường dây dọi được hiệu chỉnh vào tọa độ công trình x', y' trên các phân đoạn sau bình sai và chuyển Helmert.

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

Để hiệu chỉnh sai số do độ lệch dây dọi đã đề cập đến ở trên và thực hiện chuyển độ cao lên sàn xây dựng có thể cần xác định độ lệch dây dọi của khu vực xây dựng. Trong phạm vi nhỏ của công trình nhà cao tầng, có thể xác định độ lệch dây dọi với các bước như sau:

- Bước 1: Sau khi chọn các điểm khống chế định vị ở bên ngoài công trình với số điểm ít nhất và hợp lý nhất là 3, tiến hành đo nối một điểm (kí hiệu là điểm A) với điểm khống chế nhà nước trên khu vực bằng công nghệ GNSS để xác định tọa độ và độ cao trắc địa tại điểm này. Xác định dị thường độ cao tại điểm A theo một trong hai cách sau:

+ Dẫn độ cao hình học (độ chính xác từ hạng IV trở lên) từ điểm khống chế độ cao nhà nước đến điểm A, từ đó tính dị thường độ cao tại điểm A theo công thức:

$$\zeta_A = H_A - h_A \quad (4.22)$$

trong đó: H_A - độ cao trắc địa của điểm A; h_A - độ cao thủy chuẩn của điểm A.

+ Nội suy dị thường độ cao tại điểm A từ mô hình trọng trường EGM-2008 với kích thước khung 1'x1' [4].

- 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) để xác định chênh cao giữa các điểm này, sẽ có:

$$\zeta_i = H_i - h_i ; \zeta_j = H_j - h_j \quad (4.23)$$

$$\Delta\zeta_{ij} = \zeta_j - \zeta_i = (H_j - H_i) - (h_j - h_i) \quad (4.24)$$

các chênh cao $(H_j - H_i)$, $(h_j - h_i)$ được lấy từ kết quả đo GNSS tương đối và đo thủy chuẩn hình học chính xác. Dị thường độ cao tại các điểm khống chế định vị còn lại được tính từ dị thường độ cao điểm A theo công thức:

$$\zeta_j = \zeta_i + \Delta\zeta_{ij} \quad (4.25)$$

- Bước 3: Biểu diễn dị thường độ cao dưới dạng hàm tuyến tính của tọa độ trắc địa B, L:

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

trong đó: a_0, a_1, a_2 là ba tham số cần xác định. Với ba điểm định vị đã biết dị thường độ cao, có thể giải bài toán để xác định a_0, a_1, a_2 theo các công thức đã biết.

- Bước 4: Tính các độ lệch dây dọi thành phần bằng cách lấy đạo hàm riêng của hàm (4.26) theo các đối số B, L ta được kết quả [4]:

$$\xi = -\frac{a_1}{R} \quad (\text{rad}) \quad (4.27)$$

$$\eta = -\frac{a_2}{R \cdot \cos B} \quad (\text{rad}) \quad (4.28)$$

$$\nu = \sqrt{\eta^2 + \xi^2} \quad (4.29)$$

trong đó: ξ, η - độ lệch dây dọi thành phần trên mặt phẳng kinh tuyến và mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất; R - bán kính cung kinh tuyến. Để ước lượng độ chính xác xác định độ lệch dây dọi, có thể sử dụng công thức:

$$m_\nu = \frac{\rho}{S} \sqrt{m_{\Delta H}^2 + m_{\Delta h}^2} \quad (4.30)$$

trong đó:

m_ν - sai số trung phương độ lệch dây dọi;

$m_{\Delta H}$ - sai số trung phương chênh cao trắc địa đo được bằng công nghệ GNSS;

$m_{\Delta h}$ - sai số trung phương chênh cao đo bằng thủy chuẩn hình học chính xác;

S - Khoảng cách trung bình giữa các điểm khống chế GNSS ở bên ngoài công trình.

Với các máy thu GNSS hiện nay, dễ dàng đạt được độ chính xác $m_{\Delta H} = 5$ mm trên khoảng cách $S = 1$ km; có thể lấy độ chính xác của thủy chuẩn hạng II: $m_{\Delta h} = 2$ mm/km, từ công thức (4.30) tính được $m_\nu = 1''$. Từ bảng 4.1, nhận thấy với

$\Delta v = 1''$; $\Delta H = 200$ m thì $\Delta S_v = 1$ mm, được coi là xấp xỉ với sai số đo cạnh chính xác. Với chiều dài cạnh S ngắn hơn, để nâng cao độ chính xác xác định độ lệch dây dọi cần chọn loại máy thu GNSS có độ chính xác cao hơn để đo chênh cao trắc địa.

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

Tài liệu [48] có đề cập đến độ lệch cho phép chuyển độ cao lên các sàn xây dựng trong thi công nhà cao tầng, thể hiện ở bảng 4.3.

Bảng 4.3. Sai số khi chuyển độ cao lên sàn xây dựng trong thi công nhà cao tầng

Hạng mục	Nội dung		Độ lệch cho phép (mm)	Sai số trung phương (mm)
Chuyển độ cao theo đường thẳng đứng	Tổng chiều cao h (m)	$h \leq 30$	± 5	± 2.5
		$30 < h \leq 60$	± 10	± 5
		$60 < h \leq 90$	± 15	± 7.5
		$90 < h \leq 120$	± 20	± 10
		$120 < h \leq 150$	± 25	± 12.5

Trong bảng, sai số trung phương chuyển độ cao được tính từ sai số cho phép theo công thức:

$$m_h = \frac{\Delta_h^{cp}}{t} \quad (4.31)$$

với: m_h , Δ_h^{cp} - sai số trung phương và sai số cho phép khi chuyển độ cao lên sàn có

chiều cao h trong thi công nhà cao tầng ; t - hệ số chuyển đổi giữa sai số cho phép và sai số trung phương (trong bảng 4.3 chọn $t = 2$).

Từ bảng 4.3 có thể rút ra nhận xét: sai số trung phương và sai số cho phép chuyển độ cao tăng lên theo chiều cao h ; khi $h > 30$ m, sai số trung phương $m_h \geq \pm 5$ 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

Theo [58], các thiết bị thu GNSS Trimble R7s, R8s, R9s, R10s được chế tạo trong thời gian gần đây có độ chính xác đo tương đối tĩnh:

- Về mặt bằng: $\pm (3 \text{ mm} + 0.1 \cdot 10^{-6} \cdot D)$
- Về độ cao: $\pm (3.5 \text{ mm} + 0.4 \cdot 10^{-6} \cdot D)$.

Nếu lấy giá trị khoảng cách ngang, từ điểm khống chế bên ngoài công trình đến điểm nằm trên mặt bằng móng nhà cao tầng, là 300 m. Sẽ tính được sai số xác định chênh cao trắc địa $m_{\Delta H}$ giữa hai điểm theo sự thay đổi của chiều cao (bảng 4.4).

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

Từ bảng 4.4 nhận thấy với khoảng cách ngang đến điểm khống chế bên ngoài công trình không thay đổi, sai số xác định chênh cao trắc địa $m_{\Delta H}$ thay đổi không đáng kể theo chiều cao công trình, do hằng số b trong công thức tính sai số đo cao của máy thu GNSS khá nhỏ.

Mặt khác, nếu so sánh các giá trị sai số chênh cao trắc địa $m_{\Delta H}$ xác định được bằng các máy thu vệ tinh Trimble R7s, R8s, R9s, R10s với yêu cầu trong bảng 4.3, cho thấy công nghệ GNSS 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

Giả sử có điểm khống chế bên ngoài công trình ký hiệu là A; I là điểm khống chế trên mặt bằng móng nhà cao tầng (như hình 4.2); I' là điểm chiếu theo phương thẳng đứng của điểm I lên sàn tầng có chiều cao h. Ký hiệu như sau:

$H_A^{(0)}, h_A^{(0)}$ - độ cao trắc địa, độ cao thủy chuẩn của điểm A ở lần đo đầu tiên (chu kỳ 0);

$H_I^{(0)}, h_I^{(0)}$ - độ cao trắc địa và độ cao thủy chuẩn của điểm I ở chu kỳ 0;

$H_A^{(i)}, h_A^{(i)}$ - độ cao trắc địa và độ cao thủy chuẩn của điểm A ở lần đo thứ i;

$H_{I'}^{(i)}, h_{I'}^{(i)}$ - độ cao trắc địa và độ cao thủy chuẩn của điểm I' ở lần đo thứ i;

Công thức tính độ cao thủy chuẩn h_j của điểm j từ độ cao trắc địa:

$$h_j = H_j - \zeta_j \quad (4.32)$$

trong đó: H_j, ζ_j - độ cao trắc địa và dị thường độ cao của điểm này.

Từ công thức (4.32) ta có:

$$\Delta h_{AI}^{(0)} = h_I^{(0)} - h_A^{(0)} = (H_I^{(0)} - \zeta_I^{(0)}) - (H_A^{(0)} - \zeta_A^{(0)})$$

$$\Delta h_{AI}^{(i)} = h_{I'}^{(i)} - h_A^{(i)} = (H_{I'}^{(i)} - \zeta_{I'}^{(i)}) - (H_A^{(i)} - \zeta_A^{(i)})$$

Do vậy:

$$\begin{aligned} \Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} &= (H_{I'}^{(i)} - \zeta_{I'}^{(i)}) - (H_A^{(i)} - \zeta_A^{(i)}) - (H_I^{(0)} - \zeta_I^{(0)}) + (H_A^{(0)} - \zeta_A^{(0)}) \\ &= (H_{I'}^{(i)} - H_I^{(0)}) - (\zeta_{I'}^{(i)} - \zeta_I^{(0)}) - (H_A^{(i)} - H_A^{(0)}) + (\zeta_A^{(i)} - \zeta_A^{(0)}) \end{aligned}$$

Có thể coi $(\zeta_{I'}^{(i)} - \zeta_I^{(0)}) = (\zeta_A^{(i)} - \zeta_A^{(0)})$, từ đó:

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = (H_{I'}^{(i)} - H_I^{(0)}) - (H_A^{(i)} - H_A^{(0)}) \quad (4.33)$$

Ta thấy $(H_A^{(i)} - H_A^{(0)})=0$ nếu như điểm A không bị dịch chuyển giữa hai lần đo. Trường hợp điểm A bị dịch chuyển, có thể phát hiện và xác định độ dịch chuyển nhờ thuật toán bình sai lưới tự do được trình bày ở chương 3.

Giả sử $(H_A^{(i)} - H_A^{(0)})=0$, khi đó:

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) \quad (4.34)$$

Từ (4.33) có thể viết:

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = (H_I^{(i)} - h_I^{(i)}) + (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) \quad (4.35)$$

Trong đó $H_I^{(i)}$ - giá trị độ cao trắc địa của điểm I tại lần đo thứ i, đây là giá trị chúng ta không xác định được, vì ở lần đo thứ i không đặt máy được tại điểm I trên mặt bằng móng đã khuất.

Từ công thức (4.32) có thể viết:

$$(H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) = (h_I^{(i)} + \zeta_I^{(i)}) - (h_I^{(0)} + \zeta_I^{(0)}) = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) + (\zeta_I^{(i)} - \zeta_I^{(0)})$$

Nếu coi: $(\zeta_I^{(i)} - \zeta_I^{(0)})=0$ ta nhận được:

$$(H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) \quad (4.36)$$

Đây chính là giá trị độ chênh cao thủy chuẩn cần xác định giữa điểm I' và điểm I từ hai lần đo (lần đo thứ I và lần đo đầu tiên).

Tương tự từ (4.32) có thể chứng minh được:

$$(H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) \quad (4.37)$$

Đây chính là độ lún mốc i ở lần đo thứ i so với lần đo đầu tiên, ký hiệu là $s_I^{(i)}$:

$$s_I^{(i)} = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) \quad (4.38)$$

Từ đó có thể viết lại (4.35) theo (4.36) , (4.37) và (4.38) như sau:

$$\Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) + S_I^{(i)} \quad (4.39)$$

Mặt khác từ (4.33) ta có:

$$\begin{aligned} \Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} &= (H_I^{(i)} - H_I^{(0)}) - (H_A^{(i)} - H_A^{(0)}) \\ &= (H_I^{(i)} - H_A^{(i)}) - (H_I^{(0)} - H_A^{(0)}) \\ \Delta h_{AI}^{(i)} - \Delta h_{AI}^{(0)} &= \Delta H_{AI}^{(i)} - \Delta H_{AI}^{(0)} \end{aligned} \quad (4.40)$$

Từ (4.39) và (4.40) ta đi đến công thức cần tìm:

$$\Delta H_{AI}^{(i)} - \Delta H_{AI}^{(0)} = (h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) + S_I^{(i)} \quad (4.41)$$

hay:
$$(h_I^{(i)} - h_I^{(0)}) = (\Delta H_{AI}^{(i)} - \Delta H_{AI}^{(0)}) - S_I^{(i)} \quad (4.42)$$

nghĩa là, 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.

Để khảo sát độ chính xác xác định chênh cao thủy chuẩn giữa điểm I' và điểm I, xuất phát từ công thức (4.42), đồng thời ký hiệu:

$$\Delta h_{I-I'} = h_I^{(i)} - h_I^{(0)}$$

ta có:

$$m_{\Delta h_{I-I'}}^2 = m_{\Delta H_{AI'}}^2 + m_{\Delta H_{AI}}^2 + m_{S_I}^2 \quad (4.43)$$

Theo bảng 4.4, đồng thời nhận giá trị $m_{S_I} = \pm (1 \div 1.5)$ mm khi quan trắc lún nhà siêu cao tầng có móng cọc dạng khoan nhồi, có thể thấy ảnh hưởng của sai số quan trắc lún nhỏ không đáng kể so với những ảnh hưởng còn lại. Vậy có thể viết:

$$m_{\Delta h_{I-I'}}^2 = m_{\Delta H_{AI'}}^2 + m_{\Delta H_{AI}}^2$$

Nếu coi:

$$m_{\Delta H_{AI'}} = m_{\Delta H_{AI}} = m_{\Delta H}$$

ta đi đến công thức:
$$m_{\Delta h_{1-i}} = \sqrt{2} \cdot m_{\Delta H} \quad (4.44)$$

Với $m_{\Delta H} = \pm 3.6$ mm (bảng 4.5) tính được:

$$m_{\Delta h_{1-i}} = \pm 5.1 \text{ mm}$$

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 (bảng 4.3).

Như đã phân tích ở trên, ưu điểm nổi bật của công nghệ GNSS để chuyển độ cao lên cao trong xây dựng nhà siêu cao tầng 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. Đây là sự khác biệt cơ bản của giải pháp này so với các phương pháp chuyển độ cao lên cao khác.

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

Để minh chứng và làm rõ hơn các nội dung lý thuyết đã trình bày trong luận án, chúng tôi đã triển khai đo đạc và tính toán thực nghiệm tại công trình cụ thể. Thực nghiệm được tiến hành với các nội dung sau:

1- Thực nghiệm xây dựng và xử lý số liệu lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh ứng dụng trong chuyển trục và độ cao lên nhà siêu cao tầng theo hai phương án số liệu:

a. Số liệu đo thực tế

- Phương án 1: Bình sai tự do lưới tứ giác trắc địa ở trên tầng.
- Phương án 2: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện theo phương án cố định một điểm gốc.
- Phương án 3: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện

theo phương án bình sai tự do số khuyết dương.

b. Số liệu giả định điểm C1 bị dịch chuyển

- Phương án 1: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện theo phương án cố định một điểm gốc với điểm gốc được chọn là C2.

- Phương án 2: Bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh trong hệ tọa độ địa diện theo phương án bình sai cố định một điểm gốc với điểm gốc được chọn là C1.

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

c. 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

2- 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.

- Phương án 1: lấy số liệu đo là trị trung bình từ nhiều lần đo

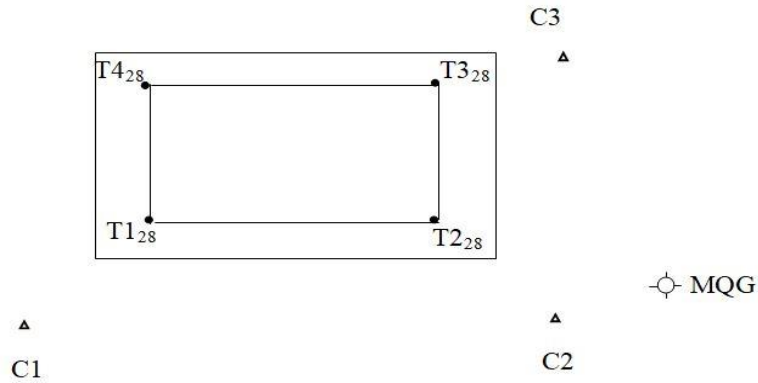
- Phương án 2: lấy số liệu đo là các thời điểm khác nhau trong ngày

3- 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.

Tất cả các bài toán đều được xử lý số liệu bằng phần mềm AdNet2.0.

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

Để minh chứng cho lý thuyết, chúng tôi đã xây dựng lưới khống chế không gian kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh phục vụ công tác chuyển trục lên tòa nhà CT2 cao 28 tầng (hơn 90m), thuộc khu nhà ở Quân đội, Thạch Bàn, Long Biên, Hà Nội. Sơ đồ lưới như hình 4.8.



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

Lưới khống chế xây dựng có 7 điểm bao gồm: 4 điểm chuyển trục trên tầng 28 của tòa nhà (kí hiệu T_1, T_2, T_3, T_4); 3 điểm định vị (kí hiệu $C1, C2, C3$) nằm tại những vị trí ổn định dưới mặt đất. Đo nối với một điểm mốc quốc gia làm khởi tính. Lưới được đo đạc bằng máy GNSS Trimble R8s và máy TĐĐT Leica TC1201. Tiến hành đo cả 7 điểm chuyển trục và điểm định vị bằng GPS với 5 máy thu với 3 ca. Đo 4 điểm T_1, T_2, T_3, T_4 tại tầng 28 bằng máy TĐĐT, đo 8 góc, 6 cạnh. Xử lý số liệu để tìm tọa độ toàn bộ 7 điểm trong một hệ tọa độ thống nhất với lưới cơ sở tại cột 0,0. Dựa vào tọa độ các điểm T_1, T_2, T_3, T_4 sau bình sai, tính các yếu tố hoàn nguyên và hoàn nguyên điểm về vị trí tọa độ như lưới cơ sở tại cột 0,0.

Bảng 4.5. Các thông số của mạng lưới

STT	Tên tham số	Giá trị	STT	Tên tham số	Giá trị
1	Tổng số điểm	7	6	Sai số đo góc	1"
2	Số điểm định vị	3	7	Sai số đo cạnh	1 + 2 ppm
3	Số điểm chuyển trục	4	8	Hệ tọa độ	Địa diện
4	Số góc đo TĐĐT	8	9	Dạng lưới	Không gian mặt đất - vệ tinh
5	Số baseline đo	15			

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 C_2).
- *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 C_1, C_2, C_3).

Các bước thực hiện bài toán bình sai cố định một điểm gốc và bình sai tự do số khuyết dương được thực hiện theo thuật toán trình bày trong mục 3.2 và 3.3. Tất cả các phương án đều được xử lý số liệu bằng phần mềm AdNet2.0 giới thiệu ở chương 3. Kết quả bài toán theo phương án 3 được trình bày trong phụ lục 2.

Từ kết quả tính toán bình sai, chiều dài cạnh và tọa độ các điểm của lưới tứ giác trắc địa $T_1T_2T_3T_4$ được thống kê ở bảng 4.6 và bảng 4.7. Trong bảng 4.7, tọa độ các điểm nằm trong hệ tọa độ địa diện. Gốc hệ tọa độ ở điểm C_2 không lấy tọa độ bằng 0 mà lấy là tọa độ điểm C_2 trong hệ tọa độ phẳng VN2000: C_2 (2325142,715; 593812,068).

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

*Bảng 4.7. Tọa độ điểm bình sai của lưới tứ giác ở các phương án tính toán
(đơn vị m)*

Tọa độ	Bình sai lưới GPS - TĐĐT với 1 điểm gốc	Bình sai tự do lưới GPS - TĐĐT với 3 điểm định vị	Độ lệch 2 phương án
x _{T1}	2325318.372	2325318.372	0.000
y _{T1}	593982.487	593982.487	0.000
x _{T2}	2325321.594	2325321.594	0.000
y _{T2}	593999.340	593999.340	0.000
x _{T3}	2325339.000	2325339.000	0.000
y _{T3}	594009.330	594009.330	0.000
x _{T4}	2325346.116	2325346.116	0.000
y _{T4}	593995.520	593995.520	0.000

Từ kết quả tính toán nêu ở bảng 4.6 và bảng 4.7 rút ra nhận xét sau:

Tọa độ các điểm trong 3 phương án tính đều bằng nhau; chiều dài cạnh bình sai giữa các phương án 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. Đối với lưới trực ở đầu mỗi đoạn chiếu vẫn nên đo các góc và cạnh bằng máy TĐĐT để kiểm tra và nâng cao độ chính xác tọa độ các điểm lưới.

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

Sơ đồ lưới và nội dung đo đạc vẫn giữ nguyên như đã nêu ở mục 4.5.1. Lấy kết quả bình sai tự do lưới không gian kết hợp mặt đất - GPS (phương án 3) đã tính với 3 điểm định vị C1, C2 và C3 làm cơ sở. Coi đây là số liệu ở chu kỳ đo thứ nhất.

Ở chu kỳ 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 như sau:

$$\delta X = X_{\text{chu kì 2}} - X_{\text{chu kì 1}} = -7 \text{ mm};$$

$$\delta Y = Y_{\text{chu kì 2}} - Y_{\text{chu kì 1}} = +1 \text{ mm};$$

$$\delta Z = Z_{\text{chu kì 2}} - Z_{\text{chu kì 1}} = -3 \text{ mm}.$$

trong đó $X_{\text{chu kì 1}}$, $Y_{\text{chu kì 1}}$, $Z_{\text{chu kì 1}}$ là tọa độ sau bình sai ở chu kì 1 của điểm C1.

$X_{\text{chu kì 2}}$, $Y_{\text{chu kì 2}}$, $Z_{\text{chu kì 2}}$ là tọa độ giả định ở chu kì 2 của điểm C1 .

Bằng các phép tính chuyển, từ độ lệch trong hệ tọa độ địa tâm tính được độ lệch tọa độ điểm C1 giữa 2 chu kì trong hệ tọa độ địa diện như sau :

$$\delta x = -4 \text{ mm}; \quad \delta y = +6 \text{ mm}; \quad \delta z = 0 \text{ mm}.$$

Từ tọa độ địa tâm của điểm C1 và tọa độ các điểm còn lại (được giữ nguyên), tính lại giá số tọa độ địa tâm thu được các cạnh baseline đo để làm số liệu đo giả định cho bài toán bình sai lưới ở chu kỳ 2.

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)

Với số liệu đo giả định ở chu kì 2 vừa tính được, tiến hành bình sai lưới không gian mặt đất - GPS cố định một điểm gốc là điểm C2 như các bước ở mục 3.2. Kết quả bài toán được trình bày trong phụ lục 2.

Từ tọa độ các điểm sau bình sai tính được độ lệch tọa độ địa diện của các điểm giữa số liệu giả định ở chu kỳ 2 và chu kỳ 1. Tọa độ địa diện của các điểm và độ lệch tọa độ giữa 2 chu kỳ được thống kê trong bảng 4.8, bảng 4.9.

Từ kết quả tính toán nêu ở bảng 4.8 và bảng 4.9 rút ra một số nhận xét sau:

Chênh lệch tọa độ địa diện của điểm C1 tính được từ số liệu giả định ở chu kì 2 so với chu kì 1 ở bảng số 4.10 khác với giá trị giả định dịch chuyển tọa độ ban đầu. Nghĩa là bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh cố định một điểm gốc không phát hiện được chính xác dịch chuyển của điểm khống chế.

Bảng 4.8. Tọa độ các điểm sau bình sai ở hai chu kỳ 1 và 2

Tên điểm	Tọa độ địa diện Chu kỳ 1			Tọa độ địa diện với số liệu giả định ở chu kỳ 2		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
T ₁	2325318.372	593982.487	101.235	2325318.372	593982.487	101.234
T ₂	2325321.594	593999.340	101.236	2325321.594	593999.340	101.236
T ₃	2325339.000	594009.330	101.222	2325339.000	594009.330	101.222
T ₄	2325346.116	593995.520	101.215	2325346.116	593995.520	101.215
C1	2325238.228	593780.240	17.469	2325238.227	593780.246	17.465
C3	2325214.224	594091.667	11.554	2325214.224	594091.667	11.554
C2	2325142.715	593812.068	17.571	2325142.715	593812.068	17.571

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

Điểm	δx	δy	δz	Lệch giữa 2 chu kỳ (mm)
T ₁	0	0	0	0.0
T ₂	0	0	0	0.0
T ₃	0	0	0	0.0
T ₄	0	0	0	0.0
C1	-1	+6	-4	7.8
C3	0	0	0	0.0
C2	0	0	0	0.0

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)

Để minh chứng rõ ràng hơn cho việc cần thiết phải sử dụng thuật toán bình sai tự do số khuyết dương thay vì bình sai cố định một điểm gốc, chúng tôi đã tính toán phương án 2. Trong phương án 2, số liệu giả định điểm C1 bị dịch chuyển và chính

điểm C1 lại được chọn làm gốc hệ tọa độ địa diện. Xử lý số liệu theo thuật toán bình sai cố định một điểm gốc. Số liệu giả định dịch chuyển giống 2 phương án trên. Tức là giá trị độ lệch trong hệ tọa độ địa diện của điểm C1 giữa 2 chu kỳ giả định như sau :

$$\delta x = -4 \text{ mm}; \delta y = +6 \text{ mm}; \delta z = 0 \text{ mm}.$$

Bảng 4.10. Tọa độ các điểm sau bình sai ở hai chu kỳ 1 và 2

Tên điểm	Tọa độ địa diện Chu kỳ 1			Tọa độ địa diện Chu kỳ 2		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
T ₁	2325318.372	593982.487	101.235	2325318.372	593982.482	101.239
T ₂	2325321.594	593999.340	101.236	2325321.595	593999.335	101.240
T ₃	2325339.000	594009.330	101.222	2325339.000	594009.324	101.226
T ₄	2325346.116	593995.520	101.215	2325346.116	593995.515	101.220
C1	2325238.228	593780.240	17.469	2325238.228	593780.240	17.469
C3	2325214.224	594091.667	11.554	2325214.226	594091.662	11.556
C2	2325142.715	593812.068	17.571	2325142.716	593812.063	17.574

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

Điểm	δx	δy	δz	Lệch giữa 2 chu kỳ (mm)
T ₁	0	-5	+4	6.4
T ₂	+1	-5	+4	6.5
T ₃	0	-6	+4	7.2
T ₄	0	-5	+5	7.1
C1	0	0	0	0.0
C3	+2	-5	+2	5.7
C2	+1	-5	+3	5.9

Với số liệu đo giả định này, tiến hành bình sai lưới không gian mặt đất - GPS cố định một điểm gốc theo các bước ở mục 3.2, điểm gốc hệ tọa độ chính là điểm bị dịch chuyển C1. Kết quả tính được tọa độ địa diện các điểm của lưới. Từ đó tính được độ lệch tọa độ địa diện của các điểm giữa chu kỳ 2 và chu kỳ 1. Tọa độ địa diện của các điểm và độ lệch tọa độ giữa 2 chu kỳ được thống kê trong bảng 4.10, bảng 4.11.

Từ kết quả tính toán nêu ở bảng 4.10 và bảng 4.11 rút ra một số nhận xét sau:

Chênh lệch tọa độ địa diện của điểm C1 tính được từ số liệu giả định ở chu kỳ 2 so với chu kỳ 1 ở bảng số 4.11 khác với giá trị giả định dịch chuyển tọa độ ban đầu. Nghĩa là 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

Với số liệu đo giả định vừa tính được, tiến hành bình sai lưới không gian tự do mặt đất - GPS ở chu kỳ 2 với 3 điểm định vị là C1, C2, C3. Để giải được hệ phương trình chuẩn có ma trận R suy biến cần tính R^{-1} là ma trận nghịch đảo tổng quát có thể tính 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 .

Kết quả tính được tọa độ địa diện các điểm của lưới. Từ đó tính được độ lệch tọa độ địa diện của các điểm giữa chu kỳ 2 và chu kỳ 1. Tọa độ địa diện của các điểm và độ lệch tọa độ giữa 2 chu kỳ được thống kê trong bảng 4.12, bảng 4.13. Kết quả bài toán bình sai tự do lưới ở chu kỳ 2 được trình bày trong phụ lục 3.

Bảng 4.12. Tọa độ các điểm sau bình sai ở hai chu kỳ 1 và 2

Tên điểm	Tọa độ địa diện Chu kì 1			Tọa độ địa diện Chu kì 2		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
T ₁	2325318.372	593982.487	101.235	2325318.372	593982.487	101.234
T ₂	2325321.594	593999.340	101.236	2325321.594	593999.340	101.236
T ₃	2325339.000	594009.330	101.222	2325339.000	594009.330	101.222
T ₄	2325346.116	593995.520	101.215	2325346.116	593995.520	101.215
C1	2325238.228	593780.240	17.469	2325238.224	593780.246	17.469
C3	2325214.224	594091.667	11.554	2325214.224	594091.667	11.554
C2	2325142.715	593812.068	17.571	2325142.715	593812.068	17.571

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

Điểm	δx	δy	δz	Lệch giữa 2 chu kì (mm)
T ₁	0	0	0	0.0
T ₂	0	0	0	0.0
T ₃	0	0	0	0.0
T ₄	0	0	0	0.0
C1	- 4	+ 6	0	7.2
C3	0	0	0	0.0
C2	0	0	0	0.0

Từ kết quả tính toán nêu ở bảng 4.12 và bảng 4.13 rút ra một số nhận xét sau:

1. Chênh lệch tọa độ địa diện giữa 2 chu kì của điểm C1 tính được ở bảng số 4.15 đúng bằng giá trị giả định dịch chuyển tọa độ ban đầu. Nghĩa là đã phát hiện được chính xác dịch chuyển của điểm khống chế nhờ bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh theo thuật toán tự do số khuyết dương.

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

Những nhận xét của cả 3 phương án tính nêu trên đã chứng minh được tính đúng đắn và hợp lý của thuật toán bình sai lưới mặt đất - vệ tinh tự do đã trình bày ở mục 3.3 để xử lý số liệu đo đạc lưới trục ở đầu mỗi đoạn chiếu trong thi công nhà siêu cao tầng.

Việc xử lý số liệu theo phương án bình sai tự do số khuyết dương đối với lưới không chế chuyển trục lên nhà nhà cao tầng vừa có ý nghĩa trong quá trình xây dựng lưới, vừa có ý nghĩa để phân tích độ ổn định lưới định vị khi chuyển trục công trình lên cao. Trong quá trình chuyển trục công trình lên cao, vẫn giữ nguyên và đo đạc các mốc định vị ở cốt 0,0. Nhưng trong quá trình xử lý số liệu nếu phát hiện có điểm định vị không ổn định cần gán lại ma trận B_i của điểm đó bằng 0 giống như các điểm không lấy làm định vị và tính lặp lần thứ hai.

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.

Để kiểm tra độ thẳng đứng nhà siêu cao tầng, cần lập các điểm khống chế ở mặt ngoài công trình và đo nối các điểm quan trắc này với lưới định vị bằng công nghệ GNSS và tính bình sai không gian kết hợp trong lưới một cấp. Ở đây cần xác định số điểm hợp lý đặt bên ngoài công trình. Thông thường chỉ cần một hay hai điểm khống chế bên ngoài là đã có thể đo nối và chuyển tọa độ cho các điểm cơ sở. Tuy nhiên để kiểm tra và đánh giá được độ ổn định của mốc thì số lượng điểm hợp lý nên chọn là ba điểm. Mặt khác, khi đo đạc để chính xác hóa lưới trục trên sàn tầng đầu tiên của mỗi phân đoạn, chúng ta chỉ sử dụng các phép đo theo chu kỳ chứ không

phải các phép đo liên tục trong suốt quá trình thi công. Do vậy chi phí cho việc đo đạc với ba điểm khống chế bên ngoài công trình so với trường hợp đo với một điểm tăng lên không nhiều. Theo quy trình chiếu và chính xác hóa lưới trục đã nêu ở 4.1.2, qua phân tích thấy rằng nên áp dụng phương pháp bình sai tự do đối với lưới GNSS - mặt đất ở đầu mỗi đoạn chiếu với ít nhất 3 điểm định vị được chọn là ba điểm bên ngoài công trình (với sơ đồ lưới như lưới thực nghiệm là điểm C_1 , C_2 , C_3) vì những lý do sau:

- Thông thường các trị đo GNSS (các baseline giữa các điểm C_1 , C_2 , C_3 và giữa các điểm này với các điểm khống chế bên trong công trình) có độ chính xác không cao hơn so với các trị đo lưới mặt đất bằng máy TĐĐT.

- Vì lý do không mong muốn, trong quá trình thi công điểm khống chế bên ngoài công trình có thể bị dịch chuyển, khi bình sai lưới với một điểm gốc sẽ gây nên sai lệch vị trí các điểm của mạng lưới (đặc biệt khi điểm dịch chuyển được chọn làm điểm gốc), làm nhiễu thông tin về kết quả tính tọa độ các điểm bên trong công trình.

Bình sai tự do lưới không gian mặt đất - vệ tinh với ba điểm định vị được chọn như trên sẽ khắc phục được những hạn chế này. Đồng thời cho phép phát hiện được điểm bị dịch chuyển và loại trừ ảnh hưởng của điểm đó đến kết quả tính toán tọa độ khi chính xác hóa lưới trục ở đầu mỗi đoạn chiếu. Để đồ hình lưới được chặt chẽ, các điểm định vị cần được xây dựng nằm trải đều trên các phía của công trình.

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, kết quả tính tọa độ địa diện và sai số trung phương tương ứng của các điểm trong lưới không gian mặt đất - vệ tinh tại Thạch Bàn theo thuật toán bình sai lưới tự do được thống kê trong bảng 4.14. Từ bảng 4.14 ta thấy, sai số trung phương tọa độ z (độ cao địa diện) các điểm của lưới thực nghiệm có giá trị lớn nhất là ± 3 mm, nghĩa là tương ứng với giá trị sai số trung phương đo chênh cao trắc địa theo lý lịch máy Trimble R8s (sai số độ cao cỡ

3.5 mm+0.4.10⁻⁶.D).

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

Điểm	x	m _x	y	m _y	z	m _z
T ₁	2325318.371	0.001	593982.487	0.001	101.235	0.001
T ₂	2325321.594	0.001	593999.340	0.001	101.236	0.003
T ₃	2325339.000	0.001	594009.330	0.001	101.222	0.001
T ₄	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

Ngoài nội dung đo nêu trên, trong lưới thực nghiệm đã tiến hành đo chênh cao lượng giác một chiều trên 3 cạnh của lưới: C1 - T₁, C2 - T₁ và C1 - T₄ bằng máy toàn đạc điện tử Leica TC-1201. Để so sánh, từ gia số tọa độ địa diện bình sai (Δx , Δy , Δz) tính được từ bảng 4.14, tiến hành tính chuyển về gia số tọa độ địa tâm (ΔX , ΔY , ΔZ), sau đó tính chuyển về gia số tọa độ trắc địa (ΔB , ΔL , ΔH).

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)	$\Delta H_{\text{GNSS-MĐ}}$ (m)	δ_h (mm)
1	C1	T ₁	83.761	83.765	+ 4
2	C2	T ₁	83.659	83.663	+ 4
3	C1	T ₄	83.743	83.746	+ 3

Kết quả tính và so sánh chênh cao xác định bằng đo cao lượng giác ($\Delta h_{\text{TĐĐT}}$) và chênh cao trắc địa trong lưới không gian mặt đất - vệ tinh ($\Delta H_{\text{GNSS-MĐ}}$) đối với 3 cạnh

nêu trên được nêu ở bảng 4.15.

Trong bảng 4.15 giá trị độ chênh δ_h được tính theo công thức:

$$\delta_h = \Delta H_{\text{GNSS-MĐ}} - \Delta h_{\text{TĐĐT}} \quad (4.45)$$

Từ bảng 4.15 có thể rút ra một số nhận xét:

- Độ chênh của các chênh cao xác định từ kết quả bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh và đo cao lượng giác có giá trị lớn nhất $\delta_h \max = + 4 \text{ mm}$. Các độ chênh đều có dấu dương, chứng tỏ tồn tại sai số hệ thống (có thể do chiết quang đứng, vì đo cao lượng giác chỉ được tiến hành một chiều từ điểm thấp lên điểm cao; hoặc tồn tại hệ số nào đó giữa khoảng cách đo bằng máy toàn đạc điện tử và thiết bị thu GNSS).

- Các độ chênh δ_h có giá trị nhỏ, phù hợp với lý lịch máy toàn đạc điện tử và thiết bị thu GNSS cũng như kết quả bình sai lưới mặt đất - vệ tinh đã nêu trên.

Kết quả tính toán ở bảng 4.14 và bảng 4.15 đã minh chứng cho tính đúng đắn của các nghiên cứu lý thuyết trình bày ở mục 4.4, 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 đã nêu ở mục 4.5.1. Lưới không gian kết hợp mặt đất - vệ tinh ngoài trị đo vệ tinh, trị đo góc ngang và cạnh nghiêng, ở mục này, đo thêm 3 góc nghiêng. Để kiểm tra thuật toán phát hiện sai số hệ thống của góc nghiêng, chúng tôi tiến hành đo thêm 3 góc nghiêng từ các điểm định vị lên các điểm ở tầng 28 của tòa nhà. Các góc nghiêng này được đo nhiều lần, tại nhiều vị trí ống kính và ở các thời điểm khác nhau trong ngày: sáng, trưa, chiều. Kết quả trung bình đo 3 góc nghiêng thể hiện ở bảng 4.16.

Các bước bài toán bình sai kết hợp lưới không gian mặt đất - vệ tinh và thuật toán phát hiện sai số hệ thống của góc nghiêng trình bày ở mục 3.4 đã được lập trình

trong chương trình AdNet2.0. Với các khoảng cách D_{C1-T1} , D_{C1-T4} , D_{C2-T1} tương đối đồng đều nên áp dụng phương trình số hiệu chỉnh cho góc thiên đỉnh như công thức (3.25). Kết quả tính bằng phần mềm AdNet2.0 với góc nghiêng được lấy giá trị trung bình từ nhiều lần đo có các giá trị tọa độ tương tự như bài toán bình sai chỉ bao gồm trị đo vệ tinh, góc ngang và khoảng cách ngang giữa các điểm trên tầng 28. Ngoài ra phát hiện được ản số $x = -0.5''$. Kết quả sai số hệ thống này không đáng kể nên không làm giảm đi chất lượng đo của lưới. Trên thực tế sai số đo góc nghiêng theo lý lịch của máy đã là $\pm 1''$.

Bảng 4.16. Kết quả đo góc nghiêng trung bình bằng TĐĐT

Số TT	Ký hiệu điểm		Góc nghiêng trung bình
	Đầu	Cuối	
1	C1	T ₁	21°03'31''
2	C1	T ₄	19°10'36''
3	C2	T ₁	18°52'25''

Để chứng minh tính đúng đắn của thuật toán, lấy số liệu mô hình theo nguyên tắc:

- Số liệu có thêm sai số hệ thống với giá trị là a (a có dấu): cả 3 kết quả đo góc cùng được cộng thêm giá trị a.
- Số liệu có cả sai số hệ thống a và sai số ngẫu nhiên lớn nhất b: cả 3 kết quả đo góc cùng được cộng thêm giá trị a và ngẫu nhiên cộng (hoặc trừ) giá trị từ 0 đến b.

Các phương án lấy số liệu như sau:

- Phương án 1: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống $+1''$.
- Phương án 2: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống $-2''$.
- Phương án 3: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống $+3''$.
- Phương án 4: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống $-6''$.

- Phương án 5: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống +8''.
- Phương án 6: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống +12''.
- Phương án 7: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống -2'' và sai số ngẫu nhiên $\pm 1''$.
- Phương án 8: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống -3'' và sai số ngẫu nhiên $\pm 3''$.
- Phương án 9: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống +8'' và sai số ngẫu nhiên $\pm 2''$.

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

Số TT	Phương án	Sai số hệ thống giả thiết	Sai số ngẫu nhiên giả thiết	Kết quả sai số hệ thống (x) tìm được
1	Số liệu 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''	$\pm 2''$	$x = +7.4''$

Kết quả xử lý tìm được sai số hệ thống được tổng hợp trong bảng 4.17. Các số liệu giả định, kết quả xử lý và hiệu chỉnh góc nghiêng được tổng hợp trong phụ lục 4. Từ kết quả ở bảng 4.17, nhận thấy, giá trị sai số hệ thống x tìm được sai lệch

$\leq \pm 0.5''$ so với giá trị giả định ban đầu. Nghĩa là đã chứng minh được tính đúng đắn của thuật toán phát hiện sai số hệ thống trong đo góc nghiêng được kết hợp trong quá trình xử lý số liệu lưới không gian mặt đất - vệ tinh.

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

Để phân tích rõ hơn về ứng dụng của thuật toán trong xử lý số liệu đo, tiến hành tính toán sai số hệ thống tại một số thời điểm đo riêng biệt trong ngày. Cụ thể, lấy điển hình số liệu đo tại ba thời điểm: 08h30 sáng, 11h45 trưa và 14h45 chiều. Kết quả đo góc nghiêng tại 3 thời điểm khác nhau trong ngày thể hiện ở bảng 4.18. Với từng kết quả đo góc nghiêng tiến hành bình sai lưới không gian mặt đất - vệ tinh có kèm thuật toán phát hiện sai số hệ thống của góc đứng bằng phần mềm AdNet2.0.

Bảng 4.18. Kết quả đo góc nghiêng tại ba thời điểm trong ngày

Số TT	Kí hiệu điểm		Góc nghiêng đo 08h 30' sáng	Góc nghiêng đo 11h 45' trưa	Góc nghiêng đo 14h 45' chiều
	Đầu	Cuối			
1	C1	T ₁	21°03'33''	21°03'26''	21°03'29''
2	C1	T ₄	19°10'37''	19°10'32''	19°10'35''
3	C2	T ₁	18°52'23''	18°52'22''	18°52'20''

Với số liệu đo 08h 30' sáng, phát hiện được sai số hệ thống của đo góc nghiêng với ần số $x = -0.31''$. Kết quả sai số hệ thống này không đáng kể nên không làm giảm đi chất lượng đo của lưới. Các giá trị tọa độ tương tự như bài toán bình sai chỉ bao gồm trị đo vệ tinh, góc ngang và khoảng cách ngang giữa các điểm trên tầng 28. Nghĩa là độ chính xác đo góc nghiêng tương đương với các dạng trị đo khác khi không bị ảnh hưởng bởi sai số hệ thống.

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 $x = -2.97''$. Đồng thời, kết quả bài toán bình sai chung có độ chính xác giảm đi so với kết quả đo vào 08h 30' sáng.

Nhận thấy kết quả thực nghiệm tính được sai số hệ thống của góc nghiêng tại các thời điểm khác nhau trong ngày là phù hợp với thực tiễn. Sai số đo góc nghiêng vào thời điểm giữa trưa khá lớn, lớn hơn 4 lần sai số trung phương đo góc theo lý lịch máy. Nhưng kết quả đo nhiều lần tại cùng thời gian này trong ngày đều sai cùng một giá trị như vậy nên đây chính là giá trị của sai số hệ thống (chủ yếu là do chiết quang). Vậy, khi đi đo góc nghiêng nên chọn thời gian đo thích hợp để tránh sai số chiết quang. Nên đo vào thời điểm sáng sớm, tránh thời điểm giữa trưa hoặc đầu giờ chiều.

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

Cùng địa điểm với thực nghiệm đã giới thiệu ở mục 4.5.1, là tòa nhà CT2, cao 28 tầng, thuộc khu nhà ở Quân đội, Thạch Bàn, Long Biên, Hà Nội, tiến hành đo xác định độ nghiêng công trình, kết hợp TĐĐT và GNSS.

Độ nghiêng của công trình là độ lệch trực đứng của công trình so với đường dây dọi. Độ nghiêng e được đặc trưng bằng vector độ lệch của điểm đang xét so với vị trí tương ứng của điểm đó tại mặt bằng gốc (thường là mặt đất), thông thường vector độ nghiêng tổng hợp e được phân tích thành 2 thành phần e_x và e_y như sau :

$$e = \sqrt{e_x^2 + e_y^2} \quad (4.46)$$

Để xác định độ nghiêng công trình bằng GNSS và TĐĐT, đã xây dựng hệ thống lưới cơ sở bằng GNSS và đo đạc tới các điểm quan trắc bằng máy TĐĐT không gương có độ chính xác cao với các điểm quan trắc được dán gương giấy. Kết quả đo đạc nên 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.

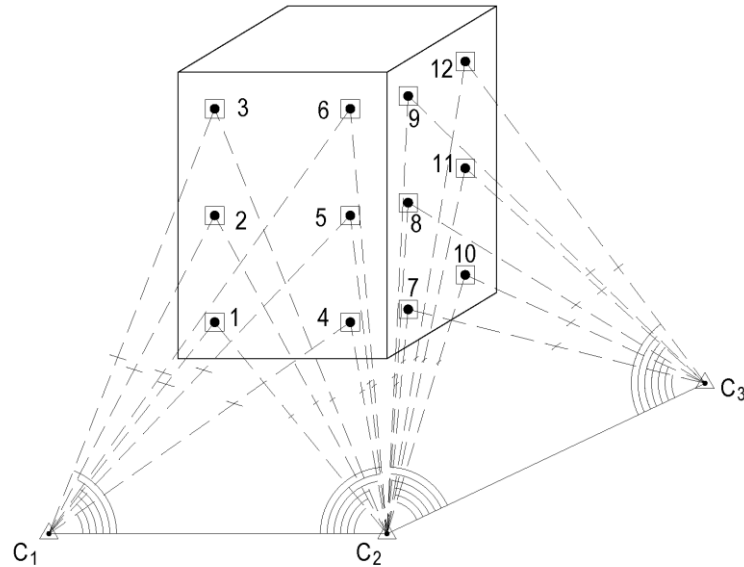
* Hệ thống các điểm cơ sở và điểm quan trắc trình (hình 4.9):

- Lưới không chế cơ sở gồm 3 điểm mốc: C_1 , C_2 , C_3 đã được xây dựng từ thực nghiệm chuyên trục lên tầng.

- Các điểm đo nghiêng công trình gắn trên 2 mặt công trình, mỗi trục 3 điểm dán bằng gương giấy.

+ Mặt 1: gồm 2 trục với 6 điểm 1 ÷ 6 tại tầng 5, 16, 27 nằm tại các góc công trình.

+ Mặt 2: gồm 2 trục với 6 điểm 7 ÷ 12 tại tầng 5, 16, 27 nằm tại các góc của công trình.



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

* Đo đạc và kết quả đo

Các điểm cơ sở được xây dựng bằng công nghệ GPS. Để đo đạc các điểm quan trắc, lần lượt đặt máy TĐĐT đo chế độ không gương tại các điểm mốc không chế cơ sở C_1 , C_2 , C_3 , ngắm vào vị trí các điểm quan trắc có dán gương giấy thông hướng có thể ngắm được, đo các yếu tố góc, cạnh. Tại mỗi một điểm quan trắc đo 2 vị trí ống kính với các giá trị đo khoảng cách, góc bằng, góc đứng. Tại mỗi trạm đo tiến hành đo đi và đo về. Kết quả là giá trị trung bình của các trị đo. Sai số trung phương lấy sai số trung phương của trị trung bình cộng. Mỗi một điểm quan trắc có số liệu đo từ 2 vị trí trạm đo. Kết quả đo các điểm bằng máy TĐĐT không gương được thể hiện ở bảng 4.19, 4.20, 4.21.

Bảng 4.19. Kết quả đo các điểm đo nghiêng trạm máy C1 định hướng C2

Điểm ngắm	Độ cao (m)	Góc β trung bình	Góc Hz trung bình	Khoảng cách ngang trung bình (m)
1	28.045	86 ⁰ 51'47"	88 ⁰ 28'35"	215.274
2	62.977	86 ⁰ 51'44"	79 ⁰ 27'30"	215.336
3	94.979	86 ⁰ 51'30"	70 ⁰ 33'48"	215.319
4	24.592	92 ⁰ 25'01"	88 ⁰ 28'35"	210.105
5	62.958	92 ⁰ 25'41"	78 ⁰ 10'30"	210.082
6	94.979	92 ⁰ 25'43"	70 ⁰ 06'40"	210.062

Bảng 4.20. Kết quả đo các điểm đo nghiêng trạm máy C2 định hướng C1

Điểm ngắm	Độ cao (m)	Góc β trung bình	Góc Hz trung bình	Khoảng cách ngang trung bình (m)
1	28.045	62 ⁰ 23'49"	87 ⁰ 52'36"	242.637
2	62.977	62 ⁰ 23'23"	79 ⁰ 44'20"	242.651
3	94.979	62 ⁰ 23'04"	72 ⁰ 37'24"	242.649
4	24.592	66 ⁰ 22'33"	88 ⁰ 41'52"	229.131
5	62.958	66 ⁰ 23'09"	79 ⁰ 08'55"	229.088
6	94.979	66 ⁰ 22'56"	79 ⁰ 39'43"	229.077
7	24.611	67 ⁰ 28'08"	88 ⁰ 37'44"	232.433
8	63.006	67 ⁰ 28'17"	79 ⁰ 17'29"	232.426
9	95.668	67 ⁰ 28'5"	79 ⁰ 54'31"	233.827
10	24.587	69 ⁰ 09'08"	88 ⁰ 41'23"	242.064
11	62.967	69 ⁰ 09'29"	79 ⁰ 43'18"	242.091
12	94.983	69 ⁰ 09'35"	72 ⁰ 35'05"	242.078

Bảng 4.21. Kết quả đo các điểm đo nghiêng trạm máy C3 định hướng C1

Điểm ngắm	Độ cao (m)	Góc β trung bình	Góc Hz trung bình	Khoảng cách ngang trung bình (m)
7	24.611	33 ⁰ 25'43"	85 ⁰ 05'35"	131.813
8	63.006	33 ⁰ 25'27"	69 ⁰ 02'16"	131.813
9	95.668	33 ⁰ 25'34"	58 ⁰ 12'26"	131.818
10	24.587	37 ⁰ 08'33"	84 ⁰ 46'06"	123.323
11	62.967	37 ⁰ 08'47"	68 ⁰ 04'07"	123.319
12	94.983	37 ⁰ 08'15"	56 ⁰ 28'45"	123.317

* Xử lý số liệu và kết quả đo nghiêng công trình

Bảng 4.22. Tọa độ và độ cao của các điểm đo nghiêng

Tên điểm	X (m)	Y (m)	H (m)
1	2325318.304	593979.524	28.045
2	2325318.329	593979.519	62.977
3	2325318.348	593979.496	94.979
4	2325297.083	593981.337	28.592
5	2325297.092	593981.325	62.958
6	2325297.093	593981.310	94.979
7	2325296.067	593986.727	28.611
8	2325296.067	593986.712	63.006
9	2325296.065	593986.706	94.668
10	2325297.062	593998.530	28.587
11	2325297.077	593998.562	62.967
12	2325297.070	593998.544	94.983

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

Đường thẳng	e_x (m)	e_y (m)	e (m)	Độ cao $h_{j,j+1}$	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''

Từ kết quả đo GPS và TĐĐT của các điểm cơ sở và điểm đo nghiêng, bình sai một cấp lưới không gian cạnh ngắn kết hợp trị đo mặt đất - vệ tinh, thu được tọa độ các điểm ở bảng 4.22. Kết quả xác định độ nghiêng ở bảng 4.23.

Việc xác định độ nghiêng là một công việc cần thiết, bởi độ nghiêng ảnh hưởng trực tiếp tới kết cấu ngôi nhà, sự bền vững và làm việc của các cấu kiện chịu lực. 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 bằng TĐĐT và GNSS, cần xây dựng hệ thống lưới cơ sở bằng GNSS 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. Việc xác định độ nghiêng nhà cao tầng bằng máy TĐĐT không gương là khả thi, đảm bảo được các yêu cầu sai số về kỹ thuật. Tuy nhiên trong quá trình thực hiện còn những mặt hạn chế như: ảnh hưởng của thời tiết, đòi hỏi thiết bị đo phải có độ chính xác cao.

Kết luận chương 4

1. Để chính xác hóa lưới trục ở đầu mỗi đoạn chiếu trong công tác chuyển trục 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 trục lên nhà cao tầng ứng dụng TĐĐT và công nghệ GNSS. Hệ tọa độ địa diện được sử dụng làm hệ tọa độ trung gian thực hiện bài toán bình sai, sau đó tính chuyển tọa độ các điểm tìm được về hệ tọa độ quy ước của công trình. 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. Theo kết luận ở mục 4.3, 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 sau:

- 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 GPS 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 chiều 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 chuyển 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 chuyển trục 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 chuyển trục 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 khống 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 chuyên 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 KHCN 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 tọa 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.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tiếng Việt

1. Bộ Xây Dựng (2006), “*Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 364:2006 Kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình*”.
2. Đặng Nam Chinh và nnk (2004), *Nghiên cứu xây dựng quy trình quan trắc địa kỹ thuật và đo đạc phục vụ xây dựng công trình nhà cao tầng trên địa bàn thành phố Hà Nội, Phần II - Công tác trắc địa*, Đề tài KHCN cấp thành phố, Hà Nội.
3. Đặng Nam Chinh, Trần Đình Trọng (2010), “Bình sai lưới GPS trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời”, *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng*, (2).
4. Đặng Nam Chinh và nnk, (2014), “*Tính độ lệch dây dọi dựa trên mô hình trọng trường trái đất EGM-2008 và số cải chính độ nghiêng cục bộ của Geoid vào chênh cao xác định bằng công nghệ GPS động*”, Báo cáo tại Hội nghị khoa học lần thứ 21 Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 11/2014.
5. Đỗ Tiên Chinh (2011), *Vấn đề tính toán bình sai biến đổi tọa độ và nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu hệ thông tin đất đai thành phố Hà Nội*, Luận án tiến sĩ khoa học kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
6. Thái Công Định, Đặng Nam Chinh, Trần Mạnh Nhất nnk... (2003), *Quy trình đo đạc xây dựng công trình nhà cao tầng trên địa bàn thành phố Hà Nội bằng công nghệ GPS và toàn đạc điện tử*, Đề tài cấp Thành phố Hà Nội, Viện kỹ thuật xây dựng Hà Nội - Sở Xây dựng Hà Nội.
7. Lê Ngọc Giang, Nguyễn Quang Minh (2012), “Xác định độ thẳng đứng của công trình nhà cao tầng bằng công nghệ GPS”, *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, (40).
8. Hoàng Ngọc Hà (2006), “Một số vấn đề về các mô hình toán học bình sai hỗn hợp lưới mặt đất - GPS”, *Tuyển tập công trình khoa học chuyên đề kỷ niệm 40 năm thành lập khoa trắc địa*, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
9. Hoàng Ngọc Hà (2006), *Bình sai tính toán lưới trắc địa và GPS*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

10. 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.
11. Phan Văn Hiến (2001), *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong Trắc địa công trình*, Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ (Bộ Giáo dục và Đào tạo), mã số B2001-36-23.
12. Đinh Công Hòa (1996), *Nghiên cứu và thành lập các thuật toán bình sai trên máy vi tính mạng lưới mặt bằng, có sử dụng số liệu đo vệ tinh trong điều kiện Việt Nam*, Luận án phó tiến sĩ khoa học kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
13. Ngô Văn Hối, Trần Mạnh Nhất, Lê Văn Hùng, nnk.. (2005), Báo cáo tổng kết đề tài: *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS và máy TĐĐT để quan trắc và đánh giá chuyển dịch ngang của các công trình*, Hà Nội.
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.
15. Hồ Thị Lan Hương (2010), *Nghiên cứu ứng dụng máy toàn đạc điện tử và công nghệ GPS trong xây dựng và khai thác công trình cầu ở Việt Nam*, Luận án tiến sĩ khoa học kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
16. Trần Khánh (2006), “ Nghiên cứu phương pháp bình sai kết nối lưới mặt đất và lưới GPS trong trắc địa công trình”, *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, Hà Nội.
17. Trần Khánh (2007), *Nghiên cứu phương pháp thành lập và xử lý số liệu mạng lưới hỗn hợp GPS - mặt đất trong trắc địa công trình*, Báo cáo đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ (Bộ Giáo dục và Đào tạo), mã số B2005-36-77.
18. Phạm Doãn Mậu (2014), *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong quan trắc biến dạng công trình thủy điện ở Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

19. Nguyễn Quang Phúc (2009). *Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp thành lập và xử lý số liệu lưới khống chế thi công các công trình xây dựng trong điều kiện Việt Nam*, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ B2008-02-05. Bộ Giáo dục và đào tạo.
20. Bùi Đăng Quang (2011), *Nghiên cứu hoàn thiện các phương pháp xử lý toán học trị đo bổ sung trong các mạng lưới trắc địa Quốc gia*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
21. Nguyễn Hạnh Quyên, Phạm Việt Hòa nnk (2011), *Nghiên cứu và đề xuất ứng dụng công nghệ GPS độ chính xác cao trong việc xác định độ chuyển dịch của công trình xây dựng ven bờ*, Viện Công nghệ vũ trụ - Viện Khoa học công nghệ Việt Nam, Hà Nội.
22. Hoàng Xuân Thành (2007), *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ hiện đại trong quan trắc chuyển dịch ngang công trình thủy lợi - thủy điện*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
23. Nguyễn Quang Thắng (2005), *Nghiên cứu hoàn thiện quy trình công tác trắc địa trong xây dựng công trình có chiều cao lớn*, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ (Bộ giáo dục và đào tạo), Mã số B2003-36-53, 04/2005.
24. 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).
25. 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).
26. 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.

27. 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, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
28. Trần Việt Tuấn (2011), “Ứng dụng phương pháp đo cao GPS để chuyển độ cao trong khảo sát thiết kế và thi công các tuyến đường giao thông”, *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, (34), Hà Nội.
29. 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*”.
30. Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng (2012), “*Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9401: 2012, Kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình*”.
31. Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng (2012), “*Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9398: 2012 Công tác trắc địa trong xây dựng công trình - Yêu cầu chung*”.

2. Tiếng Anh

32. Bomford (1980), *Geodesy*, 4th edition - Oxford
33. Bondrea M.V., Nas S., Facas R., Droja M., Sestras P. (2016), “Construction Survey and Precision Analysis Using RTK Technology and a Total Station at Axis Stake-out on a Construction Site”, *Conference: 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2016*, Volume: Book 2, Vol. 2, 155-162 pp.
34. Busics G., Zalaba P. (1998), “Comparison between traditional and GPS measurements in local deformation monitoring areas”, *International Symposium IAG on Recent Crustal Movement*. Cairo. Egypt.

35. Cefalo R., Zieliński J. B., Barbarella M. (Jul 7, 2017), *New Advanced GNSS and 3D Spatial Techniques: Applications to Civil and Environmental Engineering, Geophysics, Architecture, Archeology and Cultural Heritage*, Springer.
36. Celimer S., Rzepecka Z.(2008), *Common adjustment of GPS baselines with classical measurements*, Olstyn University of Warmia and Mazury, Institute of Geodesy.
37. Domantas B., Siaudinyte L., Rybokas M., Kulvietis G., Sabaitis D. (2014). *“Increasing of the accuracy of vertical angle measurements of geodetic instrumentation”*, *Mechanika*, 2014, ISSN 1392–1207, 20(4), pp. 426–430.
38. Gajderowicz I. (1997), *Combination of classical observations with two-dimensional GPS vectors*, Olsztyn University of Agriculture & Technology. Institute of Geodesy.
39. Ghilani D. C. (2010), *Adjustment Computation: Spatial Analysis*, Fifth Edition, John Wiley & Sons, ISBN 978-0-470-46491-5.
40. Han S., Rizos C. (2008), *Network Adjustment Issues Using Mixed GPS Surveying Techniques*, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, Sydney NSW 2052.
41. Hayes D. M, Sparks I. R, Cranenbroeck J. V (2006), “Core Wall Survey Control System for High Rise Building”, *XXIII FIG Congress: Shaping the Change*, Munich, Germany, 2006.
42. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. (2008), *GNSS - Global Navigation Satellite Systems - GPS, GLONASS, Galileo, and more*, Spinger WienNewYork.
43. Ižvoltová J., Chromčák J. (2015), *Diagnostics of Systematic Errors in Angle Measurements*, *Procedia Engineering*, 111, pp. 339-343

44. Kadaj R.(1998). *Models, methods and computation algorithms of kinematic network in geodetic deformations measurements*, Wydawnictwa AR w Krakowie, 1988, ISBN 83-86524-37-5.
45. Kadaj R. (2016), *The combined geodetic network adjusted on the reference ellipsoid - a comparison of three functional models for GNSS observation*, *Geodesy and Cartography*, 65(2), pp. 229-257.
46. Lan X., Hua X., Huang X., Chui X. (2004), *Application of GPS to threedimensional dam deformation monitoring*, Hohai University, Nanjing 210098, China.
47. Rapp R. H. (1993), *Geometric Geodesy Part II*, The Ohio State University.
48. The Standardization Administration of the People's Republic of China (2007). GB 50026-2007, *Code for engineering surveying*, 8.3.11, pp. 95.
49. Thomson D.B. (1976). *Combination of Geodetic Networks. Techincal Report No.30*, April 1976, Department of Surveying Engineering University of New Brunswick, Canada.
50. Wang J., Bâki H. I. (April 1999), *A practical GPS network adjustment method*, *Survey Review*. 35,272.

3. Các tiếng khác

51. Danxinger W., Stirling R. (1995), *Kombinierte Ausgleichung von terrestrischen und GPS - Messungen*, *Österreichische Zeitschriftfür Vermessung und Geoinformation*, (83), pp.48-55.
52. Gargula T. (2010), *Wyrównanie sieci wektorowej GPS na płaszczyźnie odwzorowawczej lokalnego układu współrzędnych*, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi. Nr, (6), pp.133-144.

53. Nguyen Quang Thang (1992), Сравнительный анализ и выбор методов обработки наземных геодезических сетей на территории Вьетнама, Докторская диссертация, Москва.
54. Strauss R. and Walter H. (1993), *Die Ausgleichung von GPS-Beobachtungen im System der Landeskoordinaten*, AVN, (6), pp207 - 212
55. Strehle J. (1996), *Ermittlung von Landeskoordinaten aus GPS-Messungen*, Mitteilungsblatt DVW-Bayern, (41), pp623 - 645.

4. Trang web

56. www.leica-geosystem.com
57. www.topcon.com
58. www.trimble.com

PHỤ LỤC

PHỤ LỤC 1

**KẾT QUẢ XỬ LÝ SỐ LIỆU THỰC NGHIỆM LƯỚI KHÔNG GIAN CẠNH
NGẮN KẾT HỢP TRỊ ĐO MẶT ĐẤT - VỆ TINH TRONG CÔNG TRÌNH
THỦY ĐIỆN NHO QUẾ 3 - TỈNH HÀ GIANG**

KET QUA BINH SAI KET HOP TRI DO GPS - MAT DAT
 TRONG HE TOA DO DIA DIEN CHAN TROI
 BINH SAI GPS - MAT DAT LUOI THUC NGHIEM THUY DIEN NHO QUE

I.SO LIEU KHOI TINH

=====

So diem goc : 0
 So diem moi : 7
 So canh Baseline : 20
 Kinh tuyến trục Lo : 105 30 0 mo = 00.9999
 So goc do : 8
 So canh do : 6
 Sai so do goc : 1''
 Sai so do canh : a = 1mm
 b = 2ppm

KET QUA TINH DOI TU xy --> BL

Diem	x(m)	y(m)	B	L
			o , ,,	o , ,,
31423	2557489.8500	550200.8320	23 7 6.61517	105 59 24.46899

II. TOA DO MOC GOC KHOI TINH :

STT	TEN MOC	x(m)	y(m)	z(m)
1	31423	2557489.850	550200.832	1244.240

III. TOA DO SAU BINH SAI.

1. Sai so trung phuong trong so don vi binh sai hon hop $M_0 = 0.938$
2. Toa do diem trong he dia dien sau binh sai hon hop:

STT	TEN MOC	x(m)	y(m)	z(m)
1	D1	2563481.373	551266.996	370.326
2	D11	2562680.698	551978.812	372.272
3	D17	2560676.267	552451.871	369.919
4	D18	2560708.855	552651.541	370.012
5	D19	2560649.557	552761.914	385.341
6	DC49	2560558.954	552568.344	390.093
7	31423	2557489.850	550200.832	1244.240

3. Sai so trung phuong vi tri diem va Elip sai so vi tri diem luoi GPS ket hop tri do mat dat

S	TEN	SAI SO VI TRI DIEM			
T	DIEM	Mx(m)	My(m)	Mp(m)	Mz(m)
1	D1	0.001	0.001	0.002	0.003
2	D11	0.001	0.001	0.001	0.004
3	D17	0.001	0.001	0.002	0.003
4	D18	0.001	0.001	0.002	0.004
5	D19	0.001	0.001	0.002	0.003
6	DC49	0.001	0.001	0.002	0.003
7	31423	0.001	0.001	0.002	0.003

- Diem yeu nhat cua mang luoi : 1 ($m_X = 0.0011$ m, $m_Y = 0.0014$ m, $m_P = 0.0017$ m)

IV. TINH TRI DO SAU BINH SAI

1. Tri do GPS sau binh sai, chieu dai canh GPS, sai so trung phuong tuong doi va sai so trung phuong phuong vi

S	CANH	dx_bs (m)	dy_bs (m)	dz_bs (m)	D (m)	1/T
1	D1 - 31423	-5991.523	-1066.164	873.914	6085.643	1: 8192300
2	D11 - 31423	-5190.848	-1777.980	871.968	5486.904	1: 9400700
3	D17 - 31423	-3186.417	-2251.039	874.321	3901.337	1: 5818100
4	D18 - 31423	-3219.005	-2450.709	874.228	4045.735	1: 5824400
5	D19 - 31423	-3159.707	-2561.082	858.899	4067.295	1: 5737500
6	DC49 -31423	-3069.104	-2367.512	854.147	3876.146	1: 5733900
7	D1 - D11	-800.675	711.815	1.946	1071.336	1: 1515700
8	D1 - D17	-2805.106	1184.875	-0.407	3045.086	1: 4204300
9	D1 - D18	-2772.518	1384.545	-0.314	3099.003	1: 4181600
10	D1 - DC49	-2922.419	1301.347	19.767	3199.068	1: 4335900
11	D11 - D17	-2004.431	473.059	-2.353	2059.497	1: 3180700
12	D11 - D18	-1971.843	672.730	-2.260	2083.442	1: 3167500
13	D11 - D19	-2031.140	783.103	13.068	2176.874	1: 3260200
14	D11 - DC49	-2121.744	589.532	17.821	2202.123	1: 3477100
15	D17 - D18	32.588	199.670	0.093	202.312	1: 302400
16	D17 - D19	-26.709	310.043	15.422	311.191	1: 440800
17	D17 - DC49	-117.313	116.473	20.174	165.312	1: 254900
18	D18 - D19	-59.298	110.373	15.329	125.293	1: 180900
19	D18 - DC49	-149.901	-83.198	20.081	171.441	1: 257200
20	D19 - DC49	-90.603	-193.571	4.752	213.725	1: 318500

- Chieu dai canh GPS yeu nhat : 18 - 19, D = 125.293m 1/T
= 1: 180900

2. Tri do mat dat sau binh sai

2.1 Chieu dai canh, so hieu chinh va tri binh sai

S	CANH	Sdo	So	Sbs
T	-----	(m)	h.chinh	(m)
T	Dau - Cuoi		(m)	
1	D17 - D18	202.313	-0.001	202.312
2	D17 - D19	311.192	-0.001	311.191
3	D17 - DC49	165.313	-0.001	165.312
4	D18 - D19	125.293	0.000	125.293
5	D18 - DC49	171.442	-0.001	171.441
6	D19 - DC49	213.726	-0.001	213.725

- Do canh voi sai so : a = 1 mm , b = 2 ppm

- Canh lon nhat : 17 - 19 , S(max) = 311.19 m

- Canh nho nhat : 18 - 19 , S(min) = 125.29 m

2.2 Tri do goc bang, so hieu chinh va tri binh sai

S	GOC			Goc do			So	Goc		
T	-----			(o ' '')			h.chinh	binh sai		
T	Trai	Giua	Phai				('')	(o ' '')		
1	18	49	19	35	53	11.00	0.04	35	53	11.04
2	17	49	18	73	49	30.00	0.50	73	49	30.50
3	19	17	49	40	16	55.00	0.80	40	16	55.80
4	18	17	19	14	11	37.00	-1.27	14	11	35.73
5	49	18	17	51	41	58.00	-0.03	51	41	57.97
6	19	18	49	90	47	4.00	-0.85	90	47	3.15
7	49	19	17	30	0	22.00	0.67	30	0	22.67
8	17	19	18	23	19	23.00	0.15	23	19	23.15

- Goc lon nhat : 19 - 18 - 49 = 90do 47' 3.1''

- Goc nho nhat : 18 - 17 - 19 = 14do 11' 35.7''

2.3 Bang tuong ho vi tri diem :

DAU - CUOI	KHOANG CACH (m)	PHUONG VI o , ,	Ms/s	Ms (m)	Ma ,,	M(th) (m)
D17 - D19	311.1915	94 55 20	1: 176500	0.0018	0.40	0.0019
D17 - DC49	165.3122	135 12 20	1: 126200	0.0013	0.56	0.0014
D17 - D18	202.3121	80 43 40	1: 124100	0.0016	0.33	0.0017
D18 - DC49	171.4413	209 1 50	1: 144600	0.0012	0.74	0.0013
D18 - D17	202.3121	260 43 40	1: 124100	0.0016	0.33	0.0017
D18 - D19	125.2933	118 14 40	1: 100900	0.0014	0.94	0.0015
D19 - DC49	213.7253	244 55 0	1: 128900	0.0017	0.73	0.0018
D19 D17	311.1915	274 55 20	1: 176500	0.0018	0.40	0.0019
D19 - D18	125.2933	298 14 40	1: 90900	0.0014	0.94	0.0015
DC49 - D18	171.4413	29 1 50	1: 144600	0.0012	0.74	0.0013
DC49 - D19	213.7253	64 55 0	1: 128900	0.0017	0.73	0.0018
DC49 - D17	165.3122	315 12 20	1: 126200	0.0013	0.56	0.0014

- Chieu dai canh yeu nhat : 18 - 19 1/T = 1: 90900
- Huong yeu nhat : 18 - 19 Ma = 0.94 ''
- Sai so tuong ho lon nhat : 17 - 19 M(t.ho) = 0.0015 m

PHỤ LỤC 2

**KẾT QUẢ BÌNH SAI LƯỚI THỰC NGHIỆM KHÔNG GIAN KẾT HỢP
MẶT ĐẤT - GPS THEO THUẬT TOÁN BÌNH SAI LƯỚI TỰ DO SỐ
KHUYẾT DƯƠNG VỚI SỐ LIỆU Ở CHU KÌ 1**

KET QUA BINH SAI KET HOP TRI DO GPS - MAT DAT
 TRONG HE TOA DO DIA DIEN CHAN TROI
 BINH SAI GPS - MAT DAT LUOI THUC NGHIEM THACH BAN

=====***=====

I.SO LIEU KHOI TINH

=====

So diem goc : 0
 So diem moi : 7
 So canh Baseline : 15
 Kinh tuyen truc Lo : 105 0 0 mo = 00.9999
 So goc do : 8
 So canh do : 6
 Sai so do goc : 1''
 Sai so do canh : a = 1mm
 b = 2ppm

I.KET QUA TINH DOI TU xy --> BL

0=====0					
Diem	x(m)	y(m)	B	L	
			o , , ,	o , , ,	
C2	2325142.7150	593812.0680	21 1 6.11501	105 54 8.88727	
0=====0					

II. TOA DO MOC KHOI TINH :

0=====0				
STT	TEN MOC	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	C2	2325142.715	593812.068	17.571
0=====0				

III. TOA DO SAU BINH SAI.

1. Sai so trung phuong trong so don vi binh sai hon hop $M_0 = 1.203$
2. Toa do diem trong he dia dien sau binh sai hon hop:

STT	TEN MOC	x(m)	y(m)	z(m)
1	1	2325318.371	593982.487	101.235
2	2	2325321.594	593999.340	101.236
3	3	2325339.000	594009.330	101.222
4	4	2325346.115	593995.520	101.215
5	c1	2325238.228	593780.240	17.469
6	c3	2325214.224	594091.667	11.554
7	C2	2325142.715	593812.068	17.571

3. Sai so trung phuong vi tri diem va Elip sai so vi tri diem luoi GPS ket hop tri do mat dat

S T T	TEN DIEM	SAI SO VI TRI DIEM			
		Mx(m)	My(m)	Mp(m)	Mz(m)
1	1	0.001	0.001	0.001	0.001
2	2	0.001	0.001	0.001	0.003
3	3	0.001	0.001	0.001	0.001
4	4	0.001	0.001	0.001	0.002
5	c1	0.001	0.001	0.001	0.002
6	c3	0.001	0.001	0.001	0.002
7	C2	0.001	0.001	0.001	0.002

- Diem yeu nhat cua mang luoi : C1 ($m_X = 0.0009$ m, $m_Y = 0.0010$ m, $m_P = 0.0013$ m)

IV. TINH TRI DO SAU BINH SAI

1. Tri do GPS sau binh sai, chieu dai canh GPS, sai so trung phuong tuong doi va sai so trung phuong phuong vi

S	CANH		dx_bs	dy_bs	dz_bs	D	1/T
T	-----		(m)	(m)	(m)	(m)	
T	Dau	Cuoi					
1	1	2	3.223	16.853	0.001	17.158	1: 5100
2	3	1	-20.628	-26.842	0.013	33.853	1: 15200
3	1	4	27.744	13.033	-0.020	30.653	1: 10000
4	3	2	-17.406	-9.990	0.014	20.069	1: 5900
5	4	2	-24.521	3.820	0.021	24.817	1: 6900
6	3	4	7.116	-13.810	-0.007	15.535	1: 5200
7	1	C1	-80.144	-202.248	-83.766	217.548	1: 70600
8	1	C2	-175.657	-170.419	-83.664	244.741	1: 141000
9	1	C3	-104.147	109.180	-89.681	150.887	1: 47600
10	3	C1	-100.772	-229.090	-83.753	250.274	1: 81200
11	3	C2	-196.285	-197.262	-83.651	278.280	1: 165600
12	3	C3	-124.776	82.338	-89.668	149.494	1: 48700
13	C3	C1	24.004	-311.427	5.915	312.351	1: 91600
14	C3	C2	-71.509	-279.599	6.017	288.599	1: 114700
15	C2	C1	95.513	-31.828	-0.102	100.677	1: 40600

- Chieu dai canh GPS yeu nhat: 1 - 2, D = 15.535m, 1/T = 1: 5100

2. Tri do mat dat sau binh sai

2.1 Chieu dai canh, so hieu chinh va tri binh sai

S	CANH		Sdo	So	Sbs
T	-----		(m)	h.chinh	(m)
T	Dau	- Cuoi		(m)	
1	1	- 2	17.157	0.001	17.158
2	1	- 3	33.853	0.000	33.853
3	1	- 4	30.653	0.000	30.653
4	2	- 3	20.069	0.000	20.069
5	2	- 4	24.815	0.002	24.817
6	3	- 4	15.535	0.000	15.535

- Do canh voi sai so : a = 1 mm , b = 2 ppm

- Canh lon nhat : 1 - 3 , S(max) = 33.85 m

- Canh nho nhat : 3 - 4 , S(min) = 15.53 m

2.2 Tri do goc bang, so hieu chinh va tri binh sai

S	GOC			Goc do			So	Goc		
T	-----			(o ' '')			h.chinh	binh sai		
T	Trai	- Giua	- Phai	(o	'	'')	('')	(o	'	'')
1	2	4	1	34	1	0.00	-2.60	34	0	57.40
2	3	4	2	53	53	0.00	8.01	53	53	8.01
3	4	1	3	27	17	40.00	4.67	27	17	44.67
4	4	1	2	54	0	45.00	-2.14	54	0	42.86
5	1	2	4	91	58	25.00	-5.26	91	58	19.74
6	1	2	3	130	40	40.00	6.01	130	40	46.01
7	2	3	1	22	36	10.00	5.79	22	36	15.79
8	2	3	4	87	24	20.00	5.71	87	24	25.71

- Goc lon nhat : 1 - 2 - 3 = 130do 40' 46.0''

- Goc nho nhat : 2 - 3 - 1 = 22do 36' 15.8''

2.3 Bang tuong ho vi tri diem :

DAU - CUOI	KHOANG CACH (m)	PHUONG VI o , ,	Ms/s	Ms (m)	Ma ,,	M(th) (m)
1 - 4	30.6526	25 9 40	1: 116500	0.0003	4.93	0.0008
1 - 3	33.8533	52 27 20	1: 38100	0.0009	12.04	0.0022
1 - 2	17.1579	79 10 20	1: 57900	0.0003	19.85	0.0017
2 - 1	17.1579	259 10 20	1: 57900	0.0003	19.85	0.0017
2 - 4	24.8169	351 8 40	1: 39400	0.0006	7.10	0.0011
2 - 3	20.0687	29 51 10	1: 24400	0.0008	25.40	0.0026
3 - 2	20.0687	209 51 10	1: 24400	0.0008	25.40	0.0026
3 - 1	33.8533	232 27 20	1: 38100	0.0009	12.04	0.0022
3 - 4	15.5350	297 15 30	1: 15200	0.0010	18.09	0.0017
4 - 2	24.8169	171 8 40	1: 39400	0.0006	7.10	0.0011
4 - 1	30.6526	205 9 40	1: 116500	0.0003	4.93	0.0008
4 - 3	15.5350	117 15 30	1: 15200	0.0010	18.09	0.0017

- Chieu dai canh yeu nhat : 3 - 4 1/T = 1: 15200
- Huong yeu nhat : 2 - 3 Ma = 25.40 ''
- Sai so tuong ho lon nhat : 2 - 3 M(t.ho) = 0.0026 m

PHỤ LỤC 3

**KẾT QUẢ BÌNH SAI LƯỚI THỰC NGHIỆM KHÔNG GIAN KẾT HỢP
MẶT ĐẤT - GPS THEO THUẬT TOÁN BÌNH SAI LƯỚI TỰ DO SỐ
KHUYẾT DƯƠNG VỚI SỐ LIỆU GIẢ ĐỊNH Ở CHU KÌ 2**

I. TOA DO SAU BINH SAI.

1. Sai so trung phuong trong so don vi binh sai hon hop $M_0 = 1.203$
2. Toa do diem trong he dia dien sau binh sai hon hop:

STT	TEN MOC	x(m)	y(m)	z(m)
1	1	2325318.368	593982.487	101.234
2	2	2325321.591	593999.339	101.235
3	3	2325338.996	594009.329	101.221
4	4	2325346.112	593995.519	101.214
5	c1	2325238.213	593780.225	17.462
6	c3	2325214.223	594091.667	11.554
7	C2	2325142.715	593812.068	17.571

3. Sai so trung phuong vi tri diem va Elip sai so vi tri diem luoi GPS ket hop tri do mat dat

S	TEN	SAI SO VI TRI DIEM			
T	DIEM	Mx(m)	My(m)	Mp(m)	Mz(m)
1	1	0.002	0.003	0.003	0.008
2	2	0.002	0.002	0.003	0.015
3	3	0.002	0.002	0.003	0.008
4	4	0.002	0.003	0.003	0.013
5	c1	0.004	0.005	0.007	0.011
6	c3	0.004	0.005	0.007	0.011
7	C2	0.004	0.005	0.006	0.012

- Diem yeu nhat cua mang luoi : C1 ($mX = 0.0044$ m, $mY = 0.0050$ m, $mP = 0.0067$ m)

II. TINH TRI DO SAU BINH SAI

1. Tri do GPS sau binh sai, chieu dai canh GPS, sai so trung phuong tuong doi va sai so trung phuong phuong vi

S	CANH		dx_bs (m)	dy_bs (m)	dz_bs (m)	D (m)	1/T
T	Dau	Cuoi					
1	1	2	3.223	16.852	0.001	17.158	1: 900
2	3	1	-20.628	-26.842	0.013	33.853	1: 2900
3	1	4	27.744	13.032	-0.020	30.652	1: 1900
4	3	2	-17.406	-9.989	0.014	20.068	1: 1100
5	4	2	-24.521	3.820	0.021	24.817	1: 1300
6	3	4	7.115	-13.809	-0.007	15.535	1: 900
7	1	C1	-80.155	-202.262	-83.772	217.565	1: 13200
8	1	C2	-175.653	-170.419	-83.663	244.738	1: 28700
9	1	C3	-104.144	109.180	-89.680	150.885	1: 8900
10	3	C1	-100.784	-229.103	-83.759	250.291	1: 15100
11	3	C2	-196.282	-197.261	-83.650	278.277	1: 33600
12	3	C3	-124.773	82.338	-89.668	149.492	1: 9100
13	C3	C1	23.989	-311.441	5.909	312.364	1: 17000
14	C3	C2	-71.509	-279.599	6.018	288.598	1: 22000
15	C2	C1	95.498	-31.843	-0.109	100.667	1: 7800

- Chieu dai canh GPS yeu nhat : 1 - 2, D = 15.535m 1/T = 1: 900

2. Tri do mat dat sau binh sai

2.1 Chieu dai canh, so hieu chinh va tri binh sai

S	CANH		Sdo	So	Sbs
T	-----		(m)	h.chinh	(m)
T	Dau	- Cuo		(m)	
1	1	- 2	17.157	0.001	17.158
2	1	- 3	33.853	0.000	33.853
3	1	- 4	30.653	-0.001	30.652
4	2	- 3	20.069	-0.001	20.068
5	2	- 4	24.815	0.002	24.817
6	3	- 4	15.535	0.000	15.535

- Do canh voi sai so : a = 1 mm , b = 2 ppm

- Canh lon nhat : 1 - 3 , S(max) = 33.85 m

- Canh nho nhat : 3 - 4 , S(min) = 15.53 m

2.2 Tri do goc bang, so hieu chinh va tri binh sai

S	GOC			Goc do	So	Goc
T	-----			(o ' '')	h.chinh	binh sai
T	Trai	- Giua	- Phai		('')	(o ' '')
1	2	4	1	34 1 0.00	-2.69	34 0 57.31
2	3	4	2	53 53 0.00	7.84	53 53 7.84
3	4	1	3	27 17 40.00	4.70	27 17 44.70
4	4	1	2	54 0 45.00	-2.14	54 0 42.86
5	1	2	4	91 58 25.00	-5.17	91 58 19.83
6	1	2	3	130 40 40.00	6.09	130 40 46.09
7	2	3	1	22 36 10.00	5.76	22 36 15.76
8	2	3	4	87 24 20.00	5.91	87 24 25.91

- Goc lon nhat : 1 - 2 - 3 = 130do 40' 46.1''

- Goc nho nhat : 2 - 3 - 1 = 22do 36' 15.8''

2.3 Bang tuong ho vi tri diem :

DAU - CUOI	KHOANG CACH (m)	PHUONG VI o , , ,	Ms/s	Ms (m)	Ma , ,	M(th) (m)
1 - 4	30.6522	25 9 40	1: 35100	0.0009	23.93	0.0037
1 - 3	33.8528	52 27 20	1: 7100	0.0047	61.34	0.0111
1 - 2	17.1577	79 10 20	1: 14200	0.0012	99.20	0.0083
2 - 1	17.1577	259 10 20	1: 14200	0.0012	99.20	0.0083
2 - 4	24.8166	35 8 40	1: 7600	0.0032	26.10	0.0045
2 - 3	20.0684	29 51 0	1: 4500	0.0044	131.42	0.0135
3 - 2	20.0684	209 51 0	1: 4500	0.0044	131.42	0.0135
3 - 1	33.8528	232 27 20	1: 7100	0.0047	61.34	0.0111
3 - 4	15.5348	297 15 30	1: 2800	0.0054	91.98	0.0088
4 - 2	24.8166	171 8 40	1: 7600	0.0032	26.10	0.0045
4 - 1	30.6522	205 9 40	1: 35100	0.0009	23.93	0.0037
4 - 3	15.5348	117 15 30	1: 2800	0.0054	91.98	0.0088

- Chieu dai canh yeu nhat : 3 - 4 1/T = 1: 2800
- Huong yeu nhat : 2 - 3 Ma = 131.42 ''
- Sai so tuong ho lon nhat : 2 - 3 M(t.ho) = 0.0135 m

PHỤ LỤC 4

**SỐ LIỆU VÀ KẾT QUẢ XỬ LÝ GÓC NGHIÊNG 9 PHƯƠNG ÁN
THỰC NGHIỆM THUẬT TOÁN PHÁT HIỆN SAI SỐ HỆ THỐNG TRONG
ĐO GÓC NGHIÊNG LƯỚI KHÔNG GIAN**

Số liệu góc đo giả định, số hiệu chỉnh, giá trị góc và sai số hệ thống xác định được với mỗi phương án được thể hiện dưới đây.

1. Phương án 1: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống +1''

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: 0.54399102624162

S	GOC			Goc do			So	Goc		
T	-----			-----			h.chinh	-----		
T	Dau	-	Cuoi	(o	'	'')	('')	(o	'	'')
1	C1		1	21	3	32.00	-0.05	21	3	31.95
2	C1		4	19	10	37.00	0.21	19	10	37.21
3	C2		1	18	52	26.00	-1.79	18	52	24.21

2. Phương án 2: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống -2''

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: -2.45604224731478

S	GOC			Goc do			So	Goc		
T	-----			-----			h.chinh	-----		
T	Dau	-	Cuoi	(o	'	'')	('')	(o	'	'')
1	C1		1	21	3	29.00	2.95	21	3	31.95
2	C1		4	19	10	34.00	3.21	19	10	37.21
3	C2		1	18	52	23.00	1.21	18	52	24.21

3. Phương án 3: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống +3''

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: 2.82231107111598

S	GOC			Goc do			So	Goc		
T	-----			-----			h.chinh	-----		
T	Dau	-	Cuoi	(o	'	'')	('')	(o	'	'')
1	C1		1	21	3	25.00	6.94	21	3	31.94
2	C1		4	19	10	31.00	6.57	19	10	37.57
3	C2		1	18	52	19.00	5.02	18	52	24.02

4. Phương án 4: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống -6''

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: -6.17778835830933

```

0=====0
| S |          GOC          |          | So |          Goc          |
| T |-----|          Goc do | h.chính| bình sai |
| T |  Đầu  -  Cuối  | (o  '  '' ) | ( '' ) | (o  '  '' ) |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 1|    C1          1  | 21  3 25.00 | 6.94 | 21  3 31.94 |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 2|    C1          4  | 19 10 31.00 | 6.57 | 19 10 37.57 |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 3|    C2          1  | 18 52 19.00 | 5.02 | 18 52 24.02 |
0=====0

```

5. Phương án 5: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống +8''

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: 7.54406865372278

```

0=====0
| S |          GOC          |          | So |          Goc          |
| T |-----|          Goc do | h.chính| bình sai |
| T |  Đầu  -  Cuối  | (o  '  '' ) | ( '' ) | (o  '  '' ) |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 1|    C1          1  | 21  3 39.00 | -7.05 | 21  3 31.95 |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 2|    C1          4  | 19 10 44.00 | -6.79 | 19 10 37.21 |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 3|    C2          1  | 18 52 33.00 | -8.79 | 18 52 24.21 |
0=====0

```

6. Phương án 6: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống +12''

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: 11.5441130054872

```

0=====0
| S |          GOC          |          | So |          Goc          |
| T |-----|          Goc do | h.chính| bình sai |
| T |  Đầu  -  Cuối  | (o  '  '' ) | ( '' ) | (o  '  '' ) |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 1|    C1          1  | 21  3 43.00 | -11.05 | 21  3 31.95 |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 2|    C1          4  | 19 10 48.00 | -10.79 | 19 10 37.21 |
|---+-----+-----+-----+-----+
| 3|    C2          1  | 18 52 37.00 | -12.79 | 18 52 24.21 |
0=====0

```

7. Phương án 7: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống -2'' và sai số ngẫu nhiên $\pm 1''$

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: -2.24334951835829

```

0=====0
| S |          GOC          |          | So |          Goc          |
| T |-----|          Goc do | h.chinh| bình sai |
| T |  Dau   -   Cui   | (o   '   '' ) | ( '' ) | (o   '   '' ) |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 1|    C1         1 | 21  3 30.00 |  2.39 | 21  3 32.39 |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 2|    C1         4 | 19 10 35.00 |  2.81 | 19 10 37.81 |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 3|    C2         1 | 18 52 22.00 |  1.53 | 18 52 23.53 |
0=====0

```

8. Phương án 8: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống -3'' và sai số ngẫu nhiên $\pm 3''$

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: -3.79994676243493

```

0=====0
| S |          GOC          |          | So |          Goc          |
| T |-----|          Goc do | h.chinh| bình sai |
| T |  Dau   -   Cui   | (o   '   '' ) | ( '' ) | (o   '   '' ) |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 1|    C1         1 | 21  3 29.00 |  3.42 | 21  3 32.42 |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 2|    C1         4 | 19 10 32.00 |  5.08 | 19 10 37.08 |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 3|    C2         1 | 18 52 21.00 |  2.90 | 18 52 23.90 |
0=====0

```

9. Phương án 9: góc nghiêng có thêm sai số hệ thống +8'' và sai số ngẫu nhiên $\pm 2''$

Sai số hệ thống của trị đo góc tính được là: 7.37897236504966

```

0=====0
| S |          GOC          |          | So |          Goc          |
| T |-----|          Goc do | h.chinh| bình sai |
| T |  Dau   -   Cui   | (o   '   '' ) | ( '' ) | (o   '   '' ) |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 1|    C1         1 | 21  3 38.00 | -6.09 | 21  3 31.91 |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 2|    C1         4 | 19 10 46.00 | -7.70 | 19 10 38.30 |
|---+-----+-----+-----+-----|
| 3|    C2         1 | 18 52 32.00 | -8.35 | 18 52 23.65 |
0=====0

```