

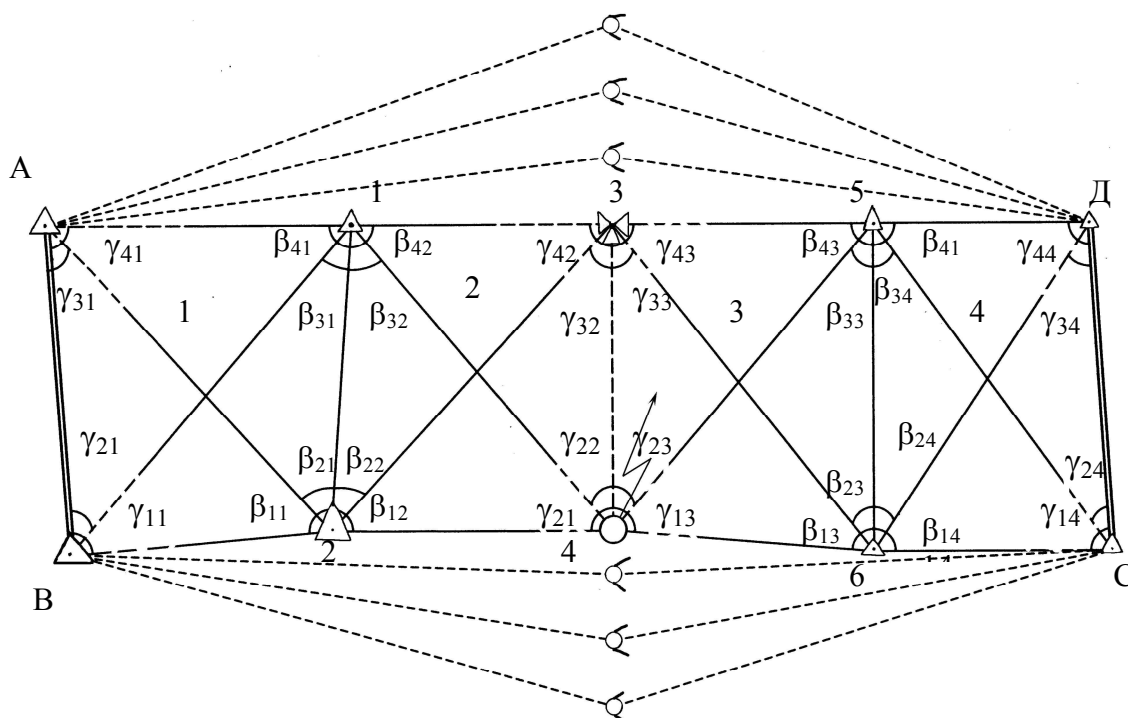
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОНОМІКИ І УПРАВЛІННЯ

Схвалено вченою радою ЧДЕіУ

Р.М. Літнарівч

ОСНОВИ КОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ



Для студентів очної та заочної форм навчання по спеціальності 7.07 09 04 –
“Землепорядкування та кадастр”

Літнарівч Р.М. *Основи космічної геодезії*. Лабораторний практикум. ЧДІЕіУ, Чернігів, 2002, -90 с.

Затверджено на засіданні Вченої Ради ЧДІЕіУ, протокол №6 від 27.06.01

Рецензенти :

- Боровий В.С. – д.т.н., професор
- Бурачек В.Г. – д.т.н., професор
- Канівець В.І. – д.с.-х.н., професор

При підготовці лабораторного практикуму була прийнята до уваги розробка А.В.Буткевича, А.Т.Дульцева “Методичні вказівки і таблиці по виконанню обчислювальних лабораторних робіт по курсу “*Космічна геодезія*”, Львів, ЛПІ, 1986, - 42с.

Як альтернативний варіант приводиться раціональна методика виконання лабораторних робіт з використанням мікроЕОМ, розроблена в ЧДІЕіУ.

ЗМІСТ

Введення.....	4
1. Робота №1. Перехід від геодезичних координат B, L, H до просторових прямокутних X, Y, Z і навпаки.....	5
2. Робота №2. Обчислення просторових квазігеоцентричних координат ШСЗ на основі синхронних фотографічних спостережень (рішення прямої просторової засічки).....	17
3. Робота №3. Зрівноваження супутникової триангуляції.....	23
4. Робота №4. Попередня обробка фотографічних спостережень ШСЗ.....	40
5. Робота №5. Обчислення довжини і напрямку космічного базису (просторові ходи).....	51
6. Робота №6. Обчислення ряду несучільних спостережень триангуляції, який опирається на пункти GPS.....	60
7. Робота №1.....	69
8. Робота №2.....	71
9. Робота №3.....	74
10. Робота №4.....	80
11. Робота №5.....	83
12. Робота №6.....	86

Введення

Студентам, які навчаються за спеціальністю “Землепорядкування та кадастр” читається курс “Геодезична астрономія з основами космічної геодезії”. Оскільки нами в ЧДІЕіУ виданий навчальний посібник з курсу “Геодезична астрономія”, виникає гостра необхідність у підготовці і видачі лабораторного практикуму з розділу “Основи космічної геодезії”.

Даний лабораторний практикум має на меті заповнити відсутність відповідної навчальної літератури, полегшити студентам закріплення теоретичного матеріалу і виконання обчислювальних лабораторних робіт та двох розрахунково-графічних робіт.

Згідно навчального плану на лабораторні роботи по розділу “Основи космічної геодезії” виділяється 6 лабораторних і 3 практичних роботи, теоретичний матеріал забезпечується 14 лекціями.

По закінченні курсу проводиться колоквиум. Лабораторний матеріал охоплює 6 робіт по наступним розділам:

- системи координат космічної геодезії;
- методи спостереження ШСЗ та їх обробки;
- рішення геометричних задач космічної геодезії;
- побудова і обробка опорних мереж.

По кожній роботі дані короткі теоретичні відомості, контрольні питання і вказівки по виконанню в яких відмічено зміст роботи, порядок виконання, необхідна література, приведений приклад обчислень.

В практикум увійшли особисті розробки доц. Літнарівича по згущенню пунктів GPS наземним методом парних ланок засічок, а також розроблені програми на мікроЕОМ, які реалізують всі обчислювальні роботи.

Нам невідомі в геодезичній літературі аналогічні практикуми і, мабуть, даний практикум видається вперше на Україні.

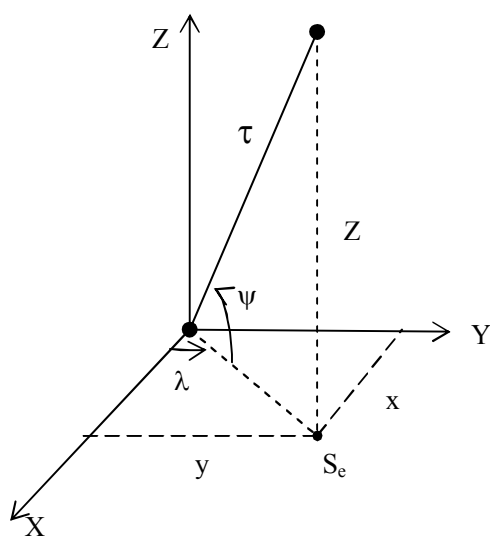
Даний практикум охоплює не лише головні типові задачі космічної геодезії, причому у спрощеній постановці, про що зроблені відповідні примітки, але дають основну уяву про зміст цієї нової дисципліни. Він може бути використаний, також, студентами заочного навчання.

Робота №1. Перехід від геодезичних координат В, L, Н до просторових прямокутних X, Y, Z і навпаки.

Вступні відомості

Для рішення задач космічної геодезії застосовується велика кількість різних систем координат і часу. Вісь OZ, як правило, буває направлена по осі обертання Землі або їй паралельна. Осі OX і OY при цьому розташовуються в площині екватора або паралельно їй. Слід звернути увагу на те, що геоцентричними координатами (широтою і довготою) в сфероїдній геодезії називають координати, віднесені до центру референц-еліпсоїда, а в космічній геодезії – до центру мас Землі, які не співпадають. Нижче приведені формули зв'язку основних систем координат. В кінці даної роботи приведені таблиці 1 і 2 допоміжних величин для полегшення обчислень. Таблиці застосовуються для широт $30 \div 70^\circ$. Їх крок $30'$ або 1° дозволяє лінійне інтерполювання, для чого дані минутні змінні функції $\Delta 1'$.

1. ЗВ'ЯЗОК ПРОСТОРОВИХ ПРЯМОКУТНИХ І СФЕРИЧНИХ КООРДИНАТ



Прямий перехід від Ψ, λ, τ до X, Y, Z :

$$x = \tau \cos \psi \cos \lambda, \quad (1.1)$$

$$y = \tau \cos \psi \sin \lambda, \quad (1.2)$$

$$z = \tau \sin \psi \quad (1.3)$$

Контроль

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \tau \quad (1.4)$$

Обернений перехід від X, Y, Z до Ψ, λ, τ :

Сферична довгота:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{x}{y} \quad (1.5)$$

Сферична широта:

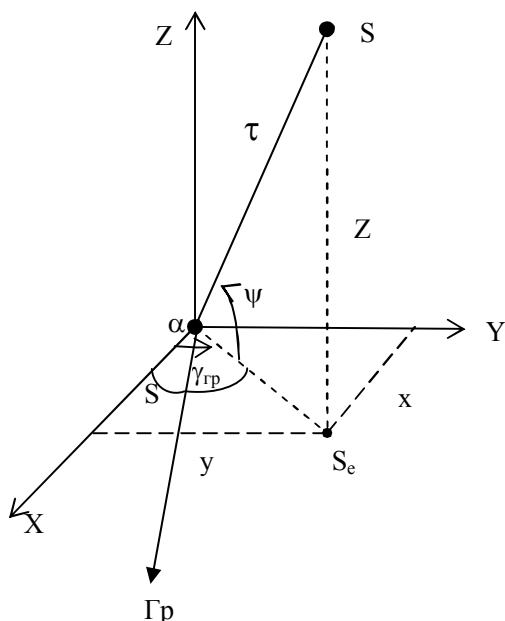
$$\operatorname{tg} \psi = \frac{Z}{D} = \frac{z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (1.6)$$

Радіус-вектор:

$$\tau = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \sqrt{D^2 + Z^2} \quad (1.7)$$

2. ЗВ'ЯЗОК ПРОСТОРОВИХ ПРЯМОКУТНИХ І ЕКВАТОРІАЛЬНИХ КООРДИНАТ

Прямий перехід від σ, α, τ до X, Y, Z :



а) в небесній системі

$$x = \tau \cos \delta \cos \alpha \quad (1.8)$$

$$y = \tau \cos \delta \sin \alpha \quad (1.9)$$

$$z = Z \sin \delta \quad (1.10)$$

б) в земній системі

$$x = \tau \cos \delta \cos \gamma_{zp} \quad (1.11)$$

$$y = \tau \cos \delta \sin \gamma_{zp} \quad (1.12)$$

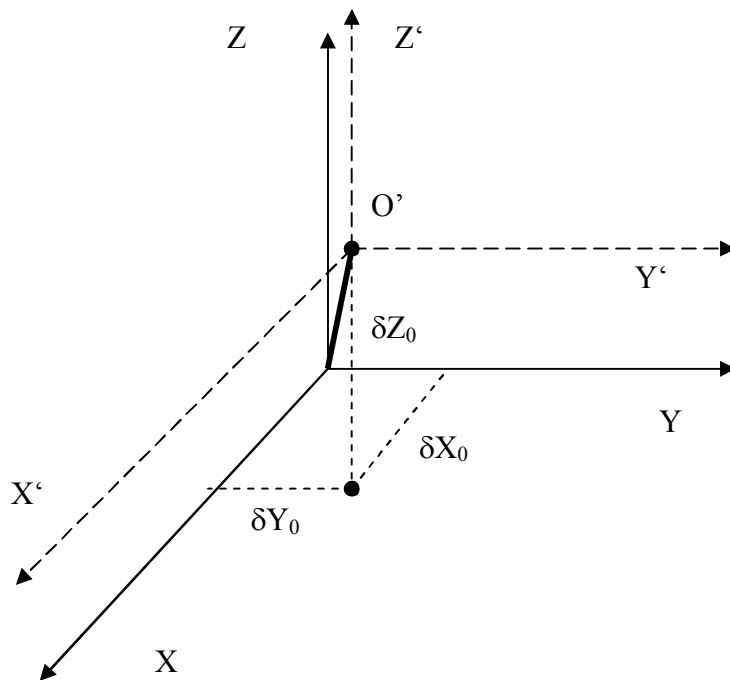
$$z = Z \sin \delta \quad (1.13) \quad \text{де } \gamma_{zp} = \alpha - S \quad (1.14)$$

Формули оберненого переходу аналогічні формулам (1.5) – (1.7).

Щоб не мати від'ємних ординат і для аналогії з відліком довгот в геодезії, зручно користуватися “оберненими гринвіцькими часовими кутами”.

$$\gamma_{zp} = \alpha - S \quad (1.14)$$

3. ЗВ'ЯЗОК ГЕОЦЕНТРИЧНИХ І КВАЗІГЕОЦЕНТРИЧНИХ ПРЯМОКУТНИХ КООРДИНАТ X, Y, Z



При умові паралельності осей координатних систем (кути повороту E_0 , Ψ_0 , ω_0 координатних квазігеоцентричних систем навколо осей координат, які викликані похибками встановлення вихідних геодезичних дат B_0 , L_0 , A_0 і h_0 звичайно не перевищують 5-10") і їх

ЗВ'ЯЗОК визначається паралельним переносом початку координат і формулами:

$$X = X' + \delta X_0 \quad (1.16)$$

$$Y = Y' + \delta Y_0 \quad (1.17)$$

$$Z = Z' + \delta Z_0 \quad (1.18)$$

При наявності кутів повороту координатних осей E_0 , Ψ_0 , ω_0 використовуються більш складні формули:

$$x = x' + \omega_0 y' - \psi_0 z' + \delta x_0, \quad (1.19)$$

$$y = y' + \omega_0 y' - \psi_0 y' + \delta y_0, \quad (1.20)$$

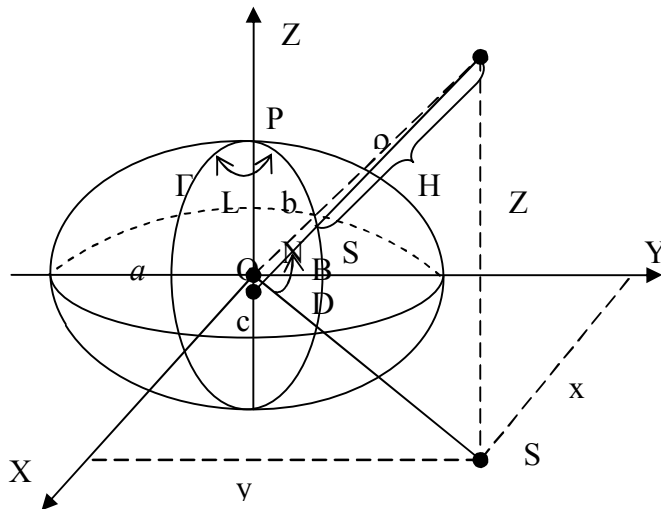
$$z = z' + \omega_0 z' - \psi_0 z' + \delta z_0, \quad (1.21)$$

Або в матричному вигляді з урахуванням відмінностей масштабів систем:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} 1 & \omega_0 & \psi_0 \\ -\omega_0 & 1 & E_0 \\ \psi_0 & -E_0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \delta z_0 \end{pmatrix} \quad (1.22)$$

Величини $\delta x_0, \delta y_0, \delta z_0$, представляють координати центра референц-еліпсоїда в системі центра мас Землі (геоцентричної). Звичайно вони не перевищують декількох сот метрів.

4. ЗВ'ЯЗОК ПРОСТОРОВИХ ПРЯМОКУТНИХ І ГЕОДЕЗИЧНИХ КООРДИНАТ



Прямий перехід від геодезичних координат B, L, H до квазі-геоцентричних просторових прямокутних X, Y, Z виконується за формулами Ф.А. Слудського, 1881р. (див. мал.1.4)

$$X = (N + H) \cos B \cos L, \quad (1.23)$$

$$Y = (N + H) \cos B \sin L, \quad (1.24)$$

$$Z = [N(1 - e^2) + H] \sin B, \quad (1.25)$$

де N – радіус кривизни першого вертикалу (вірсізок CS_0), який за однією із формул

мал. 4

$$N = \frac{a}{w} = \frac{a}{\sqrt{1 + e^2 \sin^2 B}} \quad (1.26)$$

$$N = \frac{c}{\sqrt{1 + e^2 \cos^2 B}} = \frac{c(1 + 0.25e'^2 \cos^2 B)}{(1 + 0.75e'^2 \cos^2 B)} \quad (1.27)$$

Для контролю використовується формула С.П. Ніколаєва (1960 р.)

$$N = \frac{6.399698.9(1 + 0.0016846314 \cos^2 B)}{(1 + 0.0050538940 \cos^2 B)} = 6378245 + (21345.8 + 108.1 \sin^2 B) \sin^2 B$$

де \bar{a} – велика піввісь „Повітряного еліпсоїда”, тобто еліпсоїда який має таке ж стиснення, як референц-еліпсоїд, і проходить через пункт з координатами

$x, y, z, 1 + e'^2 = 1.0067385, e^2 = 0,006693422, a$ – велика піввісь еліпсоїда Ф.Н. Красовського (6378245,0 м) або міжнародного еліпсоїда 1967 р. (6378160 м).

Коефіцієнти $1: \nu\sqrt{1-e^2}$ приводяться в додатку.

$$\text{Відрізок } D = OS_e = (N + H)\cos B = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (1.29)$$

$$\text{Відрізок } \bar{OC} = Ne^2 \sin B \quad (1.30)$$

$$\text{Відрізок } \bar{OS} \text{ (радіус-вектор)} \quad \rho = \tau = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (1.31)$$

Зворотній перехід від координат X, Y, Z до геодезичних координат B, L, H може бути виконаний одним із двох способів:

1. послідовними наближеннями К.А. Ланінга;
2. диференційних поправок А.В. Буткевича (див. нижче приклади обчислень.)

Якщо координати B, L , задані з точністю до $0,01''$, то обчислення ведуться з семи значущими цифрами і координати X, Y, Z отримують з точністю 1-2 м. Розходження в контролі (1.28) не повинні перевищувати 1 м при $H < 1500$ км, 2 м при $H < 2000$ км і 3 м при $H < 2500$ км.

5. ЗВ'ЯЗОК ГЕОЦЕНТРИЧНИХ І ТОПОЦЕНТРИЧНИХ ПРЯМОКУТНИХ КООРДИНАТ

Для встановлення цього зв'язку використовують векторне рівняння, яке зв'язує топоцентричний радіус-вектор ШСЗ $\bar{\tau}'$, його геоцентричний вектор $\bar{\tau}$ і радіус-вектор ρ пункту Р спостережень. Якщо рахувати що центр еліпсоїда O' співпадає з центром O мас Землі, а осі координат паралельні (див. мал. 3), то отримуємо векторне рівняння (основне рівняння космічної геодезії).

$$\bar{\rho} = \bar{\tau} - \bar{\tau}'$$

За допомогою рівняння можна рішати три основні задачі космічної геодезії:

1. Визначення геоцентричних координат пункту спостережень якщо вектор $\bar{\tau}'$ визначений із лазерно-фотографічних спостережень, а вектор $\bar{\tau}$, обчислений на основі теорії руху ШСЗ по відомим елементам орбіти;
2. Визначення ефемериди ШСЗ (вектор $\bar{\tau}'$), якщо відомі координати пункту Р і геоцентричний радіус-вектор $\bar{\tau}$ ШСЗ $\bar{\tau}' = \bar{\tau} - \bar{\rho}$,
3. Визначення геоцентричного вектору ШСЗ $\bar{\tau} = \bar{\tau}' + \bar{\rho}$, якщо відомі координати пункту Р і виміряний топоцентричний вектор $\bar{\tau}'$, тобто геодезичних координат ШСЗ.

Для зручності векторне рівняння (1.32) проєктують на три координатні осі і отримують три скалярні рівняння:

$$x = \tau \cos \delta \cos \alpha - \tau' \cos \delta' \cos \alpha', \quad (1.35)$$

$$y = \tau \cos \delta \sin \alpha - \tau' \cos \delta' \sin \alpha', \quad (1.36)$$

$$z = \tau \sin \alpha - \tau' \sin \delta',$$

де множники при радіусах-векторах – направляючі косинуси, тобто косинуси кутів між вектором і осями координат.

Якщо центр еліпсоїда і центр мас землі не співпадають то основне рівняння космічної геодезії набуває вигляд:

$$\bar{\rho} + \Delta\bar{\rho} = \bar{\tau} - \bar{\tau}' \quad (1.37),$$

а його проекції

$$x + \delta x_0 = \tau \cos \delta \cos \alpha - \tau' \cos \delta' \cos \alpha', \quad (1.38)$$

$$y + \delta y_0 = \tau \cos \delta \sin \alpha - \tau' \cos \delta' \sin \alpha', \quad (1.39)$$

$$z + \delta z_0 = \tau \sin \alpha - \tau' \sin \delta', \quad (1.40)$$

Вплив непаралельності (поворотів) осей координат враховуються у відповідності з формулою (1.22). Майже всі основні задачі космічної геодезії рішаються на основі рівняння (1.32) або (1.37).

Перехід від екваторіальних координат зірок до горизонтальних і навпаки розглядається в курсах сферичної астрономії, як і перетворення екваторіальних координат зірок на епоху спостережень від епохи каталогу.

Перехід від просторових прямокутних координат X, Y, Z до супроводжуваних координат x, y, z виконується за допомогою матриць поворотів навколо осі Z на кут $180^\circ - L$ і навколо осі Y на кут $90^\circ - B$ по годинниковій стрільці, тобто

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos L & \sin L & 0 \\ -\sin L & -\cos L & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin B & 0 & -\cos B \\ 0 & -1 & 0 \\ \cos B & 0 & \sin B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X - X_1 \\ Y - Y_1 \\ Z - Z_1 \end{pmatrix} \quad (1.41)$$

Контрольні питання

1. Системи координат і часу в космічній геодезії і їх класифікація.
2. Зв'язки різних систем координат.
3. Орієнтування вектора і хорди за допомогою направляючих косинусів.
4. Визначення довжин направляючих косинусів радіуса-вектора і просторової хорди.
5. Порядок переходів від геодезичних координат до просторових прямокутних.
6. Порядок переходу від просторових прямокутних координат до геодезичних. Контроль обчислень.
7. Основне рівняння космічної геодезії у строгому і наближеному вигляді.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. По геодезичним координатам пункту $B=47^{\circ}00'42'',95 + a^{\circ}v'c''$;
 $L=33^{\circ}00'08'',48 + a^{\circ}v'c''$; $H=299905$ м + $авс$ м, де $авс$ – три останні цифри залікової книжки студента, обчислити до 1 м за формулами

$$X = (N + H) \cos B \cos L \quad (1.23)$$

Ф.Слудського $Y = (N + H) \cos B \sin L \quad (1.24)$ просторові координати $X, Y,$

$$Z = [N(1 - e^2) + H] \sin B \quad (1.25)$$

Z з контролем за формулою С.Ніколаєва

$$\bar{a} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2(1 - e^2)} = a + \frac{H}{W} = a + \frac{H}{U\sqrt{1 - e^2}} \quad (1.28)$$

2. За отриманими просторовими прямокутними координатами X, Y, Z обчислити з контролем геодезичні координати B, L, H по методу наближень К.Лапінга

$$\operatorname{tg} L = \frac{X}{Y}, \quad (1.42) \quad D = X \sec L = Y \csc L \quad (1.43)$$

$$\operatorname{tg} B^{\circ} = \frac{Z(1 + e'^2)}{D}, \quad (1.44) \quad \operatorname{tg} B' = \frac{Z + Ne^2 \sin B^{\circ}}{D}, \dots \quad (1.45)$$

$$H = D \sec B - N = Z \csc B - N(1 - e^2), \quad \partial e \sec L = \frac{1}{\cos L}, \quad \csc L = \frac{1}{\sin L} \quad (1.46)$$

або за способом диференційованих поправок А.В.Буткевича

$$\operatorname{tg} L = \frac{X}{Y}, \quad (1.42) \quad D = X \sec L = Y \csc L \quad (1.43)$$

$$\operatorname{tg} B^{\circ} = \frac{Z(1 + e'^2)}{D}, \quad (1.44) \quad \rho = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \dots \quad (1.47)$$

$$\rho_0 = a(1 - e^2)U^2U_{90^{\circ}-B}, \quad (1.48) \quad H^{\circ} = \rho - \rho_0, \quad (1.49)$$

$$\delta B'' = \frac{\rho'' e'^2 \sin B^{\circ} \cos^2 B^{\circ} H^{\circ}}{D}, \quad (1.50) \quad B = B^{\circ} - \delta B, \quad (1.51)$$

$$H = H^{\circ} K_H, \quad (1.52) \quad \partial e K_H = \sqrt{1 - e^2} U U_{90^{\circ}-B}$$

Величини $N, N(1 - e^2), Ne^2 \sin B, \rho_0 = 1:U\sqrt{1 - e^2}, K_H, \delta B$ можуть бути вибрані із таблиці 1-2.

Література

1. Краснокрылов Н.Н., Плахов Ю.В. *Основы космической геодезии* – М, : Недра, 1976, гл.1, §1...3.
2. Тищенко А.П. *Геометрические методы космической геодезии.* – М, : Наука, 1971, гл.1, §1-5

ПРИКЛАД ОБЧИСЛЕНЬ. А. Перехід від координат В, L, Н до X, Y, Z

Елементи формул	Значення	Елементи формул	Значення	Елементи формул	Значення
B	47°00'42,96"	L	47°00'42,96"	H	299905 _М
X	3825309 _М	Контроль		N	6389697
cos L	0,8386483	X ²	14632988·10 ⁶	N+H	6689602
cos B	0,6818461	Y ²	6172278·10 ⁶	N(1+e ²)	6346928
(N+H)cosB	4561279	Z ² (1+e ²)	23759608·10 ⁶	N(1+e ²)+H	6646833
sinL	0,5446733	\bar{a}^2	44604874·10 ⁶	sinB	0,7314957
Y	2484407 _М	\bar{a}	6678688 _М	Z	4862130
1+e ⁻²	1,0067385	a	6378245 _М	Z ²	23640308·10 ⁶
1:U√(1+e' ²)	1,001795	H:U√(1+e' ²)	300443		
		\bar{a}	6678688(!)		

При підведенні до квадрату багатозначних чисел слід зберігати вісім значущих чисел і вводити множник 10⁶.

В. Перехід від координат X, Y, Z до геодезичних координат В, L, Н.

а) за способом послідовних наближень К.Лапінга

Елементи формул	Значення	Елементи формул	Значення	Елементи формул	Значення
X	3825309 _М	Y	2484407 _М	Z	4862130 _М
1:cosL=secL	1,1925949	cscL	1,8359629	tgL	0,6494657
D	4561279	D _i	4561276	L	33°00'08,48"
secB	1.4666066	cscB	1,3708937	1+e ⁻²	1,0067385
D secB	6689602	Z cscB	6646833	Z(1+e ⁻²)	4894894
-N	-6389697	-N(1+e ²)	-6346928	tgB°	1,0731406
H	299905	H	299905	B°	47°00'48,02"
B'	47°00'42,95"			N°e ² sinB°	32186
				Z+Ne ² sinB°	4893416
				tgB'	1,0728166

Примітка B° - геодезична широта точки перетину радіуса вектора з поверхнею еліпсоїда.

б) за способом диференційних поправок А.В.Буткевича.

Елементи формул	Значення	Елементи формул	Значення	Елементи формул	Значення
X	3825309 _М	Y	2484407 _М	Z	4862130 _М
secL	1,1925949	cscL	1,8359629	tgL	0,6494657
D	4561279	D	4561276	L	33°00'08,48"
X ²	14632988·10 ⁶	$\rho''e^{-2}$	1389,9	1+e ⁻²	1,0067385
Y ²	6172278·10 ⁶	H°	299.9·10 ³	Z(1+e ⁻²)	4894894
Z ²	23640308·10 ⁶	sinB°	0,7316	tgB°	1,0731406
ρ^2	44445574·10 ⁶	cos ² B°	0,4648	B°	47°01'14,02"
ρ	6666752	H°sinB°cos ² B°	102,0·10 ³	-δB	-31,07
-ρ ₀	-6374845	Чисельник	14,18·10 ³	B	47°00'42,95"
H ⁰	299907	δB	31,07"		
K _H	1,0000056	H	299908 _М		

Таблиця 1 для обчислення координат в космічній геодезії

B	N	Δl'	N(1-e ²)	Δl'	ρ ₀	Δl'	V	Δl'	1:√1-e ²	N _e sinB	Δl'
	688		634		637		1,002		1		
30	3588	5,43	860	5,37	2934	5,43	524	0,87	838	21364	10,77
30,5	3751	5,47	1021	5,43	2771	5,47	498	0,83	863	21687	10,7
31	3915	5,53	1184	5,5	2607	5,5	473	0,9	889	22008	10,63
31,5	4081	5,57	1349	5,53	2442	5,53	446	0,87	915	22327	10,6
32	4248	5,6	1515	5,6	2276	5,57	420	0,87	941	22645	10,63
32,5	4416	5,67	1683	5,63	2109	5,63	394	0,9	968	22961	10,47
33	4586	5,73	1852	5,67	1940	5,7	367	0,9	994	23275	10,4
33,5	4758	5,73	2022	5,73	1769	6,73	340	0,9	21	23587	10,37
34	4930	5,8	2194	5,73	1597	6,73	313	0,9	48	23898	10,3
34,5	5104	5,83	2366	6,8	1425	5,8	286	0,93	75	24207	10,23
35	5279	5,87	2540	5,83	1251	5,89	258	0,9	102	24514	10,17
35,5	5455	5,93	2715	5,87	1075	5,87	231	0,93	130	24819	10,13
36	5633	5,93	2891	5,9	899	5,93	203	0,93	158	25123	10,07
36,5	6811	5,97	3068	5,93	721	5,93	175	0,93	186	25425	9,97
37	5990	6	3146	5,97	543	6	147	0,97	214	25724	9,93
37,5	6170	6,03	3425	5,97	363	6,03	118	0,93	243	26022	9,83
38	6351	6,07	3604	6,03	182	6,03	90	0,97	271	26317	9,8
38,5	6533	6,1	3785	6,07	61	6,07	61	0,93	299	26611	9,73
39	6776	6,1	3967	6,07	9819	6,07	33	0,97	328	26903	9,63
39,5	6899	6,13	4149	6,1	9637	6,1	4	0,97	367	27192	9,6
40	7083	6,13	4332	6,1	9454	6,1	975	0,97	385	27480	9,53
40,5	7267	6,17	4515	6,13	9271	6,17	946	0,97	414	27766	9,47
41	7462	6,2	4699	6,13	9086	6,17	917	0,97	443	28050	9,37
41,5	7638	6,2	4883	6,13	8901	6,2	888	0,97	473	28331	9,27
42	7824	6,2	5067	6,17	8715	6,2	869	0,97	502	28609	9,23
42,5	8010	6,23	5252	6,2	8529	6,2	830	0,97	531	28886	9,17
43	8197	6,23	5438	6,2	8343	6,2	801	0,99	560	29161	9,1

43,5	8384	6,3	5624	6,17	8167	6,2	771	0,97	589	29434	9
44	8571	6,23	5809	6,17	7971	6,2	742	1	619	29704	8,93
44,5	8758	6,23	5994	6,2	7786	6,2	712	0,97	648	29972	8,9
45	8945	6,23	6180	6,23	7599	6,2	683	0,97	677	30239	8,77
45,5	9132	6,23	6367	6,2	7413	6,23	654	1	707	30502	8,7
46	9319	6,23	6553	6,17	7226	6,2	6,24	0,97	736	30763	8,63
46,5	9506	6,23	6738	6,2	7040	6,23	895	0,97	756	31022	8,57
47	9693	6,23	6924	6,2	6853	6,23	566	1	795	31279	8,47
47,5	9880	6,2	7110	6,17	6666	6,2	536	0,97	824	31533	8,37
K	30°	1.0000042	35°	1.0000051	40°	1.0000056	45°	1.0000056	50°	1.0000056	

Таблиця 1 для обчислення координат в космічній геодезії

B	N	Δ'	$N(1-e^2)$	Δ'	ρ_0	Δ'	V	Δ'	$:\sqrt{1-e^2}$	$N_e \sin B$	Δ'
	639		634		636		1,001		1,001		
48	66	6,2	7295	6,13	6480	6,2	507	0,97	853	51784	8,33
48,5	252	6,2	7479	6,17	6294	6,17	478	0,97	882	32034	8,27
49	438	6,2	7664	6,13	6100	6,13	449	0,97	912	32282	8,13
49,5	624	6,13	7848	6,13	5925	6,13	420	0,97	941	32526	8,07
50	838	6,17	8032	6,1	5741	6,13	391	0,97	970	32768	8
50,5	993	6,1	8215	6,07	5557	6,1	362	0,97	999	39008	7,9
51	1176	6,1	8397	6,03	5374	6,1	333	0,93	27	33245	7,83
51,5	1359	6,10	6578	6,07	5191	6,07	305	0,97	56	33480	7,73
52	1542	6,03	8760	6	5009	6,03	276	0,93	85	33712	7,67
52,5	1723	6,03	8940	5,97	4628	6	248	0,93	113	33942	7,57
53	1904	5,97	9119	5,97	4648	5,97	220	0,97	141	34169	7,47
53,5	2083	5,97	9298	5,93	4469	5,93	191	0,9	170	34393	7,4
54	2262	5,93	9476	5,9	4291	5,9	164	0,93	197	34615	7,3
54,5	2440	5,9	9653	5,87	4114	5,87	136	0,93	225	34834	7,2
55	2617	5,87	9829	5,8	3938	5,87	108	0,93	253	35050	7,13
55,5	2793	5,8	3	5,77	3762	5,83	80	0,9	261	35264	7,03
56	2967	5,77	176	5,77	3587	5,73	53	0,9	308	35475	6,97
56,5	3140	5,73	349	5,67	3415	5,73	26	0,9	335	35684	6,87
57	3312	5,7	519	5,63	3243	5,63	999	0,9	362	35890	6,77
57,5	3483	5,63	688	5,63	3074	5,63	972	0,87	389	36093	6,67
58	3652	5,6	857	5,53	2905	5,57	946	0,9	415	36293	6,57
58,5	3820	5,57	1023	5,5	2738	5,57	919	0,87	442	36490	6,5
59	3987	5,56	1188	5,47	2571	5,5	893	0,83	468	36685	6,37
59,5	4152	5,43	1352	5,43	2406	5,43	868	0,8	491	36876	6,3
60	4315	5,4	1515	5,33	2243	5,37	842	0,83	519	37065	6,23
60,5	4477	5,33	1675	5,3	2082	5,33	817	0,83	545	37252	6,13
61	4637	5,27	1834	5,23	1922	5,3	792	0,83	570	37436	6
61,5	4795	5,23	1991	5,2	1763	5,23	767	0,83	595	37616	5,93
62	4952	5,13	2147	5,13	1606	5,17	742	0,8	619	37794	5,83
62,5	5106	5,1	2301	5,1	1451	5,07	718	0,8	643	37969	5,73
63	5259	5,03	2454	4,97	1299	5	694	0,77	667	38141	5,63
63,5	5410	4,97	2603	4,93	1149	4,97	671	0,8	691	38310	5,53
64	5559	4,9	2751	4,87	1000	4,87	647	0,77	715	38476	5,43
64,5	5706	4,83	2897	4,8	854	4,83	624	0,73	730	38639	5,37
65	5851	4,77	3041	4,73	709	4,77	602	0,73	760	38800	5,23
65,5	5994	4,7	3183	4,63	566	4,7	580	0,77	783	38957	5,13
66	6135	4,6	3322	4,6	425	4,6	557	0,73	805	39111	5,03
66,5	6273	4,57	3460	4,53	287	4,53	535	0,7	827	39252	4,91
67	6410	4,47	3596	4,43	151	4,43	514	0,7	848	39411	4,83

К	50°	.000005 6	55°	1.0000051	60°	.0000042	65°	.000003 3	70°	.0000023	
---	-----	--------------	-----	-----------	-----	----------	-----	--------------	-----	----------	--

Таблица №2 Поправки $\delta B'' = \frac{\rho'' e'^2 \sin B^0 \cos^2 B^0 H^0}{D}$

H _{km}	21°	24°	27°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	45°
10	0,73"	0,81"	0,86"	0,94"	0,96"	1,01"	1,03"	1,05"	1,07"	1,06"	1,09"	,09"
100	7,16	7,95	8,66	9,26	9,62	9,94	10,2	10,4	10,6	10,7	10,7	0,69
110	7,86	8,74	9,02	10,18	10,6	10,9	11,2	11,4	11,6	11,7	11,7	0,74
120	8,56	9,52	10,4	11,1	II, 51	11,9	12,19	12,4	12,6	12,7	12,8	0,79
130	9,26	10,3	11,2	12	12,5	12,9	13,18	13,5	13,7	13,8	13,8	0,84
140	9,96	11,1	12,05	12,9	13,4	13,82	14,2	14,5	14,7	14,8	14,9	0,89
150	10,7	11,8	12,9	13,8	14,3	14,8	15,2	15,5	15,7	15,9	15,9	0,94
160	11,4	12,6	13,7	14,7	15,3	15,7	16,2	16,5	16,8	16,9	17	0,98
170	12,1	13,4	14, 58	15,6	16,2	16,7	17,1	17,5	17,7	17,9	18	0,01
180	12,7	14,2	15,4	16,5	17,1	17,61	18,1	18,5	18,7	18,9	19	0,04
190	13,4	14,9	16,2	17,4	18	18,6	19,1	19,5	19,8	20	20,1	0,07
200	14,1	15,7	17,1	18,3	19	19,9	20,1	20,5	20,8	21	21,1	0,09
210	14,8	16,4	17,9	19,2	19,9	20,5	21	21,4	21,8	22	22,1	0,11
220	15,5	17, 20	18	20	20,8	20,5	21,5	22,4	22,8	23	23,1	0,13
230	16,2	18	19,5	20,9	21,7	22,4	23	23,4	23,8	24	24,1	0,15
240	16,6	18,7	20,4	21,8	22,6	23,3	23,9	24,4	24, 60	25	25,2	0,16
250	17,5	19,5	21,2	22,7	23,5	24,26	24,9	25,4	25,8	26	26,2	0,17
260	18,18	20,2	22	23,5	24,4	25, 19	25, 84	26,4	26,8	27	27,2	0,18
270	18,86	20,9	22,8	24,4	25,3	26,1	26	27, 34	27,8	28	28,2	0,18
280	19,5	21,7	23,6	25,3	26,2	27,1	27,8	26, 00	26,7	29	29,16	0,18
290	20,2	22,4	24,4	26,1	27,1	28	28,7	29,3	29,7	30	30,2	0,18
300	20,9	23,2	25,2	27	28	28,9	29,6	30,2	30,7	31	31,2	0,17
B	69°	66°	63°	60°	58°	56°	54°	52°	50°	48°	46°	45°

Як нам здається, приведені вище методики є застарілими, тому що вони вимагають використання таблиць і не враховують можливостей розрахунку за програмами на мікроЕОМ.

В ЧДІЕіУ розроблена методика виконання лабораторної роботи №1 на програмованих мікрокалькуляторах Електроніка МК-61, МК-52 і CITIZEN SPR-175.

Програма №1. Перехід від геодезичних координат В, L, Н до прямокутних X, Y, Z і навпаки

F _{ПРГ}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	$K^{\rightarrow \dots}$	ХП1	С/П	$K^{\rightarrow \dots}$	ХП2	С/П	ХП3	1	ПХ5
10	ПХ1	Fsin	FX2	X	-	$F\sqrt{\quad}$	ХП8	С/П	ПХ4	:
20	$F_{1/X}$	ХП7	С/П	ПХ1	Fcos	ПХ2	Fcos	X	ПХ7	ПХ3
30	+	ХП9	X	ХПа	С/П	ПХ9	ПХ1	Fcos	X	ПХ2
40	Fsin	X	ХП6	С/П	1	ПХ5	-	ПХ7	X	ПХ3
50	+	ПХ1	Fsin	X	ХПС	С/П	Fx^2	1	ПХ6	+
60	X	ПХ6	Fx^2	+	ПХа	Fx^2	+	$F\sqrt{\quad}$	С/П	ПХ3
70	ПХ8	:	ПХ4	+	С/П	ПХ6	ПХа	:	Ftg^{-1}	$K^{\leftarrow \dots}$
80	С/П	ПХ2	Fcos	$F_{1/X}$	ПХа	X	ХПd	С/П	1	ПХ6
90	+	ПХС	X	ПХd	:	Ftg^{-1}	ХПе	$K^{\leftarrow \dots}$	С/П	ПХe
100	Fsin	ПХ5	X	ПХ7	X	F	АВТ			

Продовження програми в ручному розрахунку

					ПХС	+	ПХd	:	Ftg^{-1}
ХПС	$K^{\leftarrow \dots}$	В	ПХd	ПХe	Fcos	$F_{1/X}$	X	ПХ7	-
				Н					

Протокол №1 розрахунку за програмою

№	Введення даних	Результат	Позначення	№	Введення даних	Результат	Позначення
1	6378245 ХП4		a	18			
2	6,693422 ВП3 /-/ХП5		e^2	19	ПХС		
3	6,738525		e^{-2}	20	+		
	ВП3/-/			21	ПХd		
	ХП6			22	:		
4	В/О С/П			23	Ftg^{-1}		
5	47°00'42, 95" С/П		B	24	ХПе		
6	33°00'08, 48" С/П		L	25	$K^{\leftarrow \dots}$		
7	299905 С/П		$H_{(CM)}$	26		47°00'43, 03"	B
8		0,99820759 С/П	W	27	ПХd		
9		6389697,9 С/П	N	28	ПХe		
10		3825309,1 С/П	X	29	$Fcos$		
11		2484408,1 С/П	Y	30	$F_{1/X}$		
12		4862130,3 С/П	Z	31	X		
13		6678688,8 С/П	\bar{a}	32	ПХ7		
14		678688,5 С/П	\bar{a} КОНТ- роль	33	-		
15		33°00'08, 47" С/П	L	34		299907,7	H
16		4561279,4 С/П	D'				
17		47°01'14, 02" С/П	B'				

Робота №2.

Обчислення просторових квазігеоцентричних координат ШСЗ за результатами синхронних фотографічних спостережень.

(Рішення прямої просторової засічки)

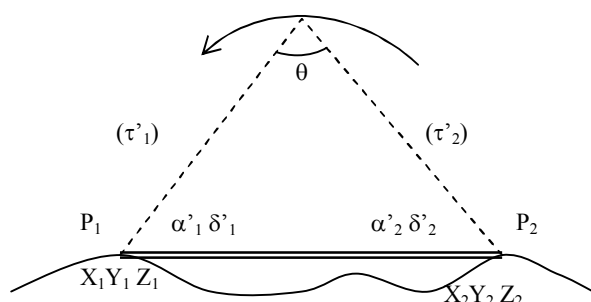
Вступні відомості

Вихідними даними для рішення цієї задачі (мал.5) є просторові прямокутні координати двох пунктів спостережень геодезично зв'язаних між собою X_1, Y_1, Z_1 і X_2, Y_2, Z_2 , і отримані з обробки синхронних фотознімків ШСЗ на цих пунктах топоцентричних екваторіальних координат ШСЗ α'_1, δ'_1 ; α'_2, δ'_2 , а також момент синхронних спостережень T по всесвітньому часі і даті спостережень.

В подальшому обробку спостережень зручно вести за допомогою „обернених гринвіцьких часових кутів” ШСЗ, які обчислюються за формулою (1.14):

$$\gamma'_{ep} = \alpha' - S = -t'_{ep}, \quad \text{де } S = S_0 + T + T_\mu$$

Для спрощення обчислень у завданні даються відразу обернені гринвіцькі часові кути ШСЗ. Обчислення координат ШСЗ виконується за спрощеним методом І.Жонголовича у наступному порядку:



1. Обчислюються різниці координат вихідних пунктів

$$\Delta x = x_2 - x_1; \quad \Delta y = y_2 - y_1; \quad \Delta z = z_2 - z_1 \quad (2.1)$$

2. Розраховуються направляючі косинуси топоцентричних радіусів-векторів з вихідних пунктів на ШСЗ.

$$m'_i = \cos \delta'_i \cos \gamma'_i; \quad n'_i = \cos \delta'_i \sin \gamma'_i; \quad r'_i = \sin \delta'_i \quad (2.2)$$

і кут θ

$$\cos \theta = m'_1 m'_2 + n'_1 n'_2 + r'_1 r'_2. \quad (2.3)$$

Для контролю виконується тотожність

$$m_i^2 + n_i^2 + r_i^2 = 1 \quad (2.4)$$

3. Обчислюються топоцентричні віддалі до ШСЗ.

$$\tau'_1 = \frac{\sum_1 - \sum_2 \cos \theta}{D}, \quad (2.5) \quad \tau'_2 = \frac{\sum_1 \cos \theta - \sum_2}{D}, \quad (2.6)$$

$$\text{де } D = \sin^2 \theta \quad (2.7) \quad \sum_1 = m'_1 \Delta x + n'_1 \Delta y + r'_1 \Delta z \quad (2.8)$$

$$\sum_2 = m'_2 \Delta x + n'_2 \Delta y + r'_2 \Delta z \quad (2.9)$$

4. Розраховуються двічі (з обох пунктів) координати ШСЗ X_s, Y_s, Z_s ,

$$x'_s = x_1 + m'_1 \tau'_1; \quad x''_s = x_2 + m'_2 \tau'_2; \quad (2.10)$$

$$y'_s = y_1 + n'_1 \tau'_1; \quad y''_s = y_2 + n'_2 \tau'_2; \quad (2.11)$$

$$z'_s = z_1 + r'_1 \tau'_1; \quad z''_s = z_2 + r'_2 \tau'_2; \quad (2.12)$$

і нев'язки координат:

$$V_x = x''_s - x'_s; \quad V_y = y''_s - y'_s; \quad V_z = z''_s - z'_s. \quad (2.13)$$

5. Обчислюються координати ШСЗ з оцінкою її точності.

Існує також наближений спосіб рішення прямої просторової засічки, в якому спочатку за оберненими часовими кутами γ_1' , γ_2' , приміряючи формули Гауса, знаходять координати проекції ШСЗ на площину екватора X_s , Y_s , а після координату Z_s за формулами:

$$Z_s = Z_1 + \sqrt{(x_s - x_1)^2 + (y_s - y_1)^2} \operatorname{tg} \delta_1' = Z_2 + \sqrt{(x_s - x_2)^2 + (y_s - y_2)^2} \operatorname{tg} \delta_2' \quad (2.14)$$

Таким чином, в даному випадку рішення просторової засічки зводиться до рішення трьох плоских засічок.

В даній задачі є 4 вимірні величини γ_1' , γ_2' , δ_1' , δ_2' і три невідомі X_s , Y_s , Z_s . Тому строге її рішення із зрівноваженням параметричним методом, потребує складання чотирьох рівнянь поправок і їх рішення під умовою:

$$[P_{\gamma_1'} V^2_{\gamma_1'}] + [P_{\delta_1'} V^2_{\delta_1'}] = \min \quad (2.15)$$

В наближеному способі І.Жонголовича використовуються три рівняння поправок для ΔX , ΔY , ΔZ і умова мінімуму суми квадратів накладається не на похибки вимірюваних величин, а на похибки деяких функцій.

Крім того використовується просторова лінійна засічка (як мінімум по трьом віддалям від опорних пунктів) і векторна засічка (по вимірній віддалі і напрямку на ШСЗ з одного або двох пунктів).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Активні і пасивні ШСЗ і їх використання в геодезії.
2. Основне рівняння космічної геодезії у векторній та координатній формі в наближеному і строгому вигляді.
3. Обчислення направляючих косинусів радіуса-вектора і хорди.
4. Способи спостережень ШСЗ.
5. Задачі геодезії, які рішення по спостереженням ШСЗ з відомими та невідомими елементами орбіти (орбітальний і геометричний методи).
6. Порядок обробки синхронних фотографічних спостережень ШСЗ за способом І.Жонголовича. Причини нестрочності цього методу.

ЗМІСТ РОБОТИ

По виміряним на двох геодезично-зв'язаних пунктах P_1 і P_2 топоцентричним екваторіальним координатам ШСЗ α_1' , δ_1' ; α_2' , δ_2' (або γ_1' , δ_1') обчислити за способом І.Жонголовича:

1. Направляючі косинуси векторів $\bar{\tau}_1'$ і $\bar{\tau}_2'$ і кут θ при ШСЗ.
2. Топоцентричні віддалі (радіуси-вектори) до ШСЗ τ_1' , τ_2' .
3. Прямокутні квазігеоцентричні координати ШСЗ X_s , Y_s , Z_s .
4. Середню квадратичну похибку одиниці ваги, ваги віддалей, похибки віддалей і положення ШСЗ.

Література

1. Краснокрылов И.И., Плахов Ю.В. *Основи космічної геодезії*. –М.: Недра, 1976, введение, с. 104...106, 143...146, 155...166.

2. Бойко Е.Г., Кленицкий Б.М. и др. Построение, уравнивание и оценка точности космических геодезических сетей. – М.: Недра, 1972, гл IV, V.

Приклад обчислень

1. Вихідні дані

$$\gamma'_1 = 354^\circ 02' 33,75'' + 0, bc'',$$

$$\gamma'_2 = 335^\circ 36' 12,00'' + 0, bc'',$$

$$\delta'_1 = 20^\circ 49' 41,5'' + 0, bc'',$$

$$\delta'_2 = 0^\circ 43' 21,0'' + 0, bc'',$$

де b, c – дві останні цифри залікової книжки студента.

Вихідні дані нульового варіанту.

2. Обчислення направляючих косинусів θ

Елем. форм.	P ₁	P ₂	Δ	Елем. форм.	P ₁	P ₂
X	3698631	3183780	-514851	m'_i	0,9296032	0,9106353
Y	-2308821	-1421510	+887311	$\cos \gamma'_i$	0,9945995	0,9107077
Z	4639732	5322971	+683239	$\cos \delta'_i$	0,9346508	0,9999205
Виміряні величини				$\sin \gamma'_i$	-0,1037871	-0,4130514
γ'_i	23 ^h 36 ^m 10,25 ^s	22 ^h 22 ^m 24,80 ^s		n'_i	-0,0970047	-0,4130186
γ'_i	354°02'33,75''	335°36'12,0''		r'_i	0,35556699	0,0126097
δ'_i	20°49'41,5''	0°43'21,0''		Контроль		
				m'^2_i	0,8641621	0,8292566
				n'^2_i	0,0094099	0,1705844
				r'^2_i	0,1264278	0,0001590
				Σ	0,9999998	1,0000000
				$m'_1 m'_2$	0,8465295	
				$n'_1 n'_2$	0,0400647	
				$r'_1 r'_2$	0,0044836	
				$\cos \theta$	0,8910778	
				$\cos^2 \theta$	0,7940222	
				$D = \sin^2 \theta$	0,2059778	

3. Обчислення віддалей τ'_1, τ'_2

Елементи формул	P ₁	P ₂	Елементи формул	τ'_1	Елементи формул	τ'_2
$m'_i \Delta X$	- 478607	- 468841	Σ_1	- 321749	$\Sigma_1 \cos \theta$	- 286698
$n'_i \Delta Y$	- 86,073	- 366476	$-\Sigma_2 \cos \theta$	736656	$-\Sigma_2$	826702
$r'_i \Delta Z$	+ 242937	8615	$\Sigma_1 - \Sigma_2 \cos \theta$	414913	$\Sigma_1 \cos \theta - \Sigma_2$	540004
Σ	- 321743	- 826702	τ'_1	2014332	τ'_2	2621628

4. Обчислення Координат ШСЗ X_s, Y_s, Z_s

Елементи формул	P ₁	P ₂	Середнє	Нев'язки V	V^2
x_i	3698631	3183780			
$\tau'_i m'_i$	1872529	2387347			

X_s	5571160	5571127	5571143	-33	1089
y_i	-2308821	-1421510			
$\tau'_i n'_i$	-1954400	-1082781			
y_s	-2504221	-2504291	-2504256	-70	4900
z_i	4639732	4322971			
$\tau'_i r'_i$	716230	33059			
Z_s	5355962	5356039	5355996	+67	4489

$$[V^2]=10478$$

5. Оцінка точності.

Середня квадратична похибка одиниці ваги

$$\mu = \sqrt{\frac{[PV^2]}{n-k}} \quad (2.16)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{[V^2]}{4-3}} = \sqrt{10478} = 102_M$$

Ваги віддалей

$$P_{\tau_i} = P_{\tau'_2} = [bb \cdot 1] = \sin^2 \theta$$

$$P_{\tau'} = 0.206 \quad (2.17)$$

Похибка віддалей

$$m_{\tau'_1} = m_{\tau'_2} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{\tau'}}$$

$$m_{\tau'} = \frac{102}{0.454} = 225_M \quad (2.18)$$

Похибка в положенні ШСЗ

$$M_s = \frac{m_{\tau'} \sqrt{2}}{\sin \theta},$$

$$M_s = \frac{225 \cdot 1.41}{0.454} = 699_M \quad (2.19)$$

Нижче приводиться методика проведення лабораторної роботи №2, розроблена в ЧДІЕіУ.

Програма №2. Обчислення просторових квазігеоцентричних координат ШСЗ за результатами синхронних фотографічних спостережень (рішення прямої просторової засічки)

F _{ПРГ}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХП0	С/П	K ⁻ ...	КХП4	FL0	04	Fsin
10	ХП2	С/П	ПХ9	Fcos	ПХ7	Fcos	X	ХП3	С/П	ПХ9
20	Fcos	ПХ7	Fsin	X	ХП4	С/П	Fx ²	ПХ3	Fx ²	+
30	ПХ2	Fx ²	+	С/П	ПХ8	Fsin	ХП0	С/П	ПХ8	Fcos
40	ПХ6	Fcos	X	ХП1	С/П	ПХ8	Fcos	ПХ6	Fsin	X
50	ХП5	С/П	Fx ²	ПХ1	Fx ²	+	ПХ0	Fx ²	+	С/П
60	ПХ1	ПХ3	X	ПХ5	ПХ4	x	+	ПХ0	ПХ2	x
70	+	ХПа	Fcos ⁻¹	Fsin	Fx ²	ХПd	С/П	ХПb	С/П	ХПc
80	С/П	ХПе	ХП0	x	ПХc	ПХ5	x	+	ПХb	ПХ1
90	x	+	ХП6	ПХ3	ПХb	x	ПХ4	ПХc	x	+
100	ПХ2	ПХe	x	+	С/П	F	АВТ			

Продовження програми в ручному розрахунку

						ПХа	x	ПХ6	-	ПХd
	:	/-/	ПХ8	τ ₁	ПХ6	ПХа	x	ПХ7	-	ПХd
	:	τ ₁	ПХ8	ПХ1	x	X ₁	+	X' _s	ПХ8	ПХ5
	x	y ₁	+	Y' _s	ПХ8	ПХ0	x	Z' ₁	+	Z' _s
	ПХ9	ПХ3	x	X ₂	+	X'' _s	ПХ9	ПХ4	x	y _z
	+	y'' _z	ПХ9	ПХ2	x	Z _z	+	Z'' _s		

Програма № 2 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			28-30	ПХ6, ПХа, x		τ ₂
2	354°02'33,75" С/П		γ ₁ '	31-33	ПХ7, -, ПХd		τ ₁ m ₁ '
3	335°36'12,0" С/П		γ ₂ '	34-35	: , ХП9	2621628,9	X ₁
4	20°49'41,5" С/П		δ ₁ '	36-38	ПХ8, ПХ1, x		X' _s
5	0°43'21,0" С/П		δ ₂ '	39	3698631 +		τ ₁ n ₁ '
6		0,012609668 С/П	r ₂ '		ПХ8, ПХ5, x	5571160,7	Y ₁
7		0,9106352 С/П	m ₂ '	40-42	-2308821 +		Y' _s
8		-0,41301879 С/П	n ₂ '	43		-2504221,0	τ ₁ r ₁ '
9		0,99999999 С/П	Контр		ПХ8, ПХ0, x		Z' ₁
10		0,35556689 С/П	r ₁ '	44-46	4639732 +		Z' _s
11		0,92960329 С/П	m ₁ '	47		5355961,8	τ ₂ m ₂ '
12		-0,09700484 С/П	n ₁ '		ПХ9, ПХ3, x		X ₂
13		1 С/П	Контр	48-50	3183780 +		X'' _s
14		0,20598020	D	51		5571127,6	τ ₂ n ₂ '
15	-514851 С/П		ΔX		ПХ9, ПХ4, x		Y ₂

16	887311 С/П		ΔY	52-54	-1421510 +	-250429,0	Y''_s
17	683239 С/П		ΔZ	55	ПХ9, ПХ2, х		
18		-826702,14	Σ_2	56-58	5322971 +		
19-21	ХП7, ПХa, х			59		5356028,9	Z''_s
22-24	ПХ6, -, / - /			60			
25-27	ПХd, :, ХП8	2014332	τ'_1				

Зведення таблиці результатів

	Середні значення координат	$v_x = X''_s - X'_s$ $v_y = Y''_s - Y'_s$ $v_z = Z''_s - Z'_s$	V^2
$X_{S\text{cp}}$	5571144,15	-32,8	1075,84
$Y_{S\text{cp}}$	-2504256,50	-71,0	5041,00
$Z_{S\text{cp}}$	5355995,35	+67,1	4502,41

$$[V^2] = 10619.25$$

Оцінка точності

Середня квадратична похибка одиниці ваги

$$\mu = \sqrt{\frac{[PV^2]}{n-k}} = \sqrt{\frac{10619.25}{4-3}} = 103.05_M$$

Ваги віддалей

$$P_{\tau'_1} = P_{\tau'_2} = [bb \cdot 1] = \sin^2 \theta = 0,206$$

Похибки віддалей

$$m_{\tau'_1} = m_{\tau'_2} = \frac{\mu}{\sqrt{P\tau'}} = \frac{103.05}{0.454} = 226.98$$

Похибка в положенні ШСЗ

$$M_s = \frac{m_\tau \sqrt{2}}{\sin \theta} = \frac{226.98 \cdot 1.41}{0.454} = 704.9_M$$

Робота №3. Зрівноваження супутникової тріангуляції

Вступні відомості

Вимірними величинами у супутникових мережах можуть бути: а) напрямки на ШСЗ, отримані від обробки фотографічних спостережень; б) віддалі до ШСЗ, отримані лазерними або радіо-віддалемірами; в) віддалі та напрямки. У відповідності з цим розглядають три види космічних геодезичних мереж:

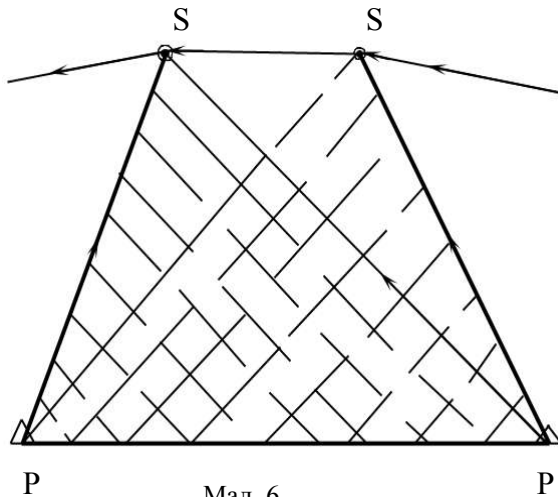
1. Супутникова тріангуляція.
2. Супутникова трilaterація.
3. Супутникова векторна мережа (хорда).

Площиною синхронізації називають площину, яка проходить через два пункти спостережень і ШСЗ в момент синхронних спостережень.

Топоцентричним радіусом-вектором називають вектор, з'єднуючий пункт спостереження і ШСЗ.

Замикаючим напрямком називають напрямок хорди, яка з'єднує два пункти спостережень ШСЗ. Він характеризується трьома направляючими косинусами M_{12} , N_{12} , R_{12} (косинусами кутів між хордою і осями координат) або двома сферичними кутами Ψ_{12} , Λ_{12} (з площиною екватора і гринвіцького меридіана).

Ідея супутникової тріангуляції полягає в тому що по синхронним фотографічним спостереженням ШСЗ з двох пунктів можна визначити напрямок хорди P_1P_2 (але не її довжину). Такі спостереження складають умову компланарності трьох векторів $(\vec{d}, \vec{r}'_1, \vec{r}'_2)$ у вигляді визначника



Мал. 6.

$$\begin{vmatrix} M_{12} & N_{12} & R_{12} \\ m'_1 & n'_1 & r'_1 \\ m'_2 & n'_2 & r'_2 \end{vmatrix} = 0, \text{ або } \begin{vmatrix} \Delta X & \Delta Y & \Delta Z \\ m'_1 & n'_1 & r'_1 \\ m'_2 & n'_2 & r'_2 \end{vmatrix} \quad (3.1)$$

А звідси отримають рівняння площини синхронізації

$$\Delta X_{12}(n'_1 r'_2 - n'_2 r'_1) - \Delta Y_{12}(m'_1 r'_2 - m'_2 r'_1) + \Delta Z(m'_1 n'_2 - m'_2 n'_1) = 0 \quad (3.2)$$

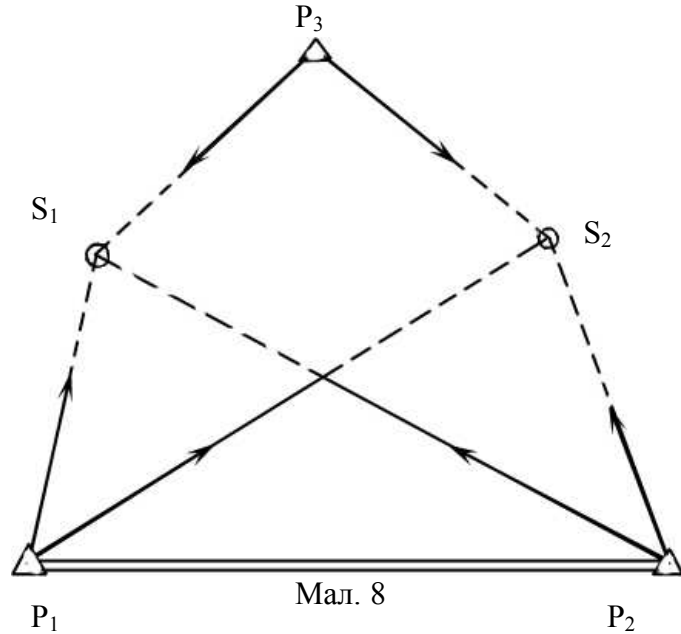
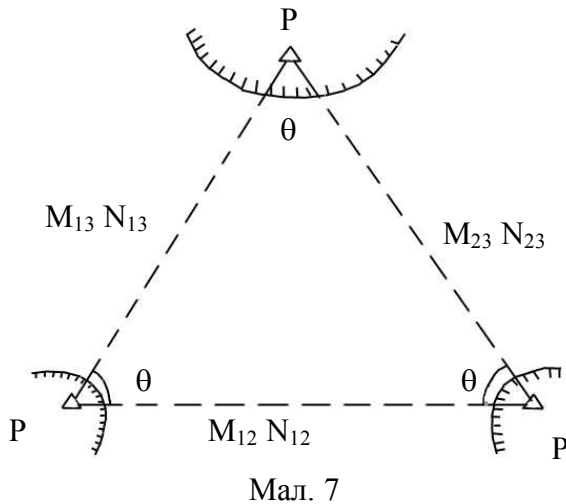
або $A_1 \Delta x + B_1 \Delta y + C_1 \Delta z = 0$

Спостереження другого ШСЗ (або повторне спостереження першого) дає рівняння другої площини синхронізації (див мал. 6)

$$A_2 \Delta x + B_2 \Delta y + C_2 \Delta z = 0$$

Із сумісного рішення цих двох рівнянь можна отримати рівняння прямої, по якій вони перетинаються, тобто хорди P_1P_2 P_3 (довжини яких можуть досягати декількох тисяч кілометрів), то можна визначити кути цього „хордового” трикутника (див мал. 7) використовуються формули виду

$$\cos\theta_1 = M_{12}M_{13} + N_{12}N_{13} + R_{12}R_{13} \quad (3.5)$$



Очевидно, $\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 180^\circ$ (а не $180^\circ + E$, тому що ми маємо справу з плоским трикутником)

Застосовують наступні побудови супутникової триангуляції:

1. Пряма просторова засічка (мал. 5). В ній є два вихідні пункти і один ШСЗ, що визначається

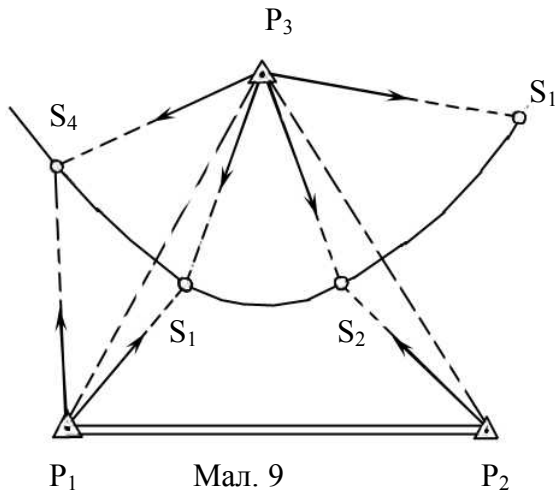
Вимірних величин	– 4
<u>Невідомих</u>	– 3
Надлишкових вимірів	– 1 .

2. Обернена просторова засічка (мал. 8). У цій побудові два вихідних пункти, два ШСЗ і один пункт, що підлягає визначенню

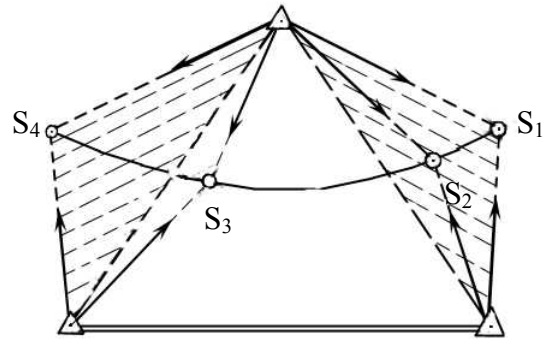
Вимірів	– 12
<u>Невідомих</u>	– 9
Надлишкових вимірів	– 3 .

3. Засічка пункту, замикаючими напрямками (мал. 9). Маємо два вихідних пункти, чотири ШСЗ і один пункт, що підлягає визначенню

Вимірів	– 16
<u>Невідомих</u>	– 15
Надлишкових вимірів	– 1 .



Мал. 9



Мал. 10

4. Засічка пункту площинами синхронізації (мал. 10). В ній два вихідні пункти три ШСЗ і один пункт, що підлягає визначенню

Вимірів	– 16
<u>Невідомих</u>	<u>– 15</u>
Надлишкових вимірів	– 1 .

В окремих випадках вимірними величинами вважають сферичні кути хорд Ψ_{ik} , Λ_{ik} , отримані із обробки синхронних фотографічних спостережень.

Супутникова триангуляція має ряд особливостей, так як напрямки між її пунктами визначають незалежно один від одного в одній зоряній системі координат. Тому в ній не можуть виникати кутові умови (сум і азимутів). Поліусні, базисні і координатні умови зберігаються, але мають дуже складний вигляд. Крім того, в ній виникають особливі умови:

1. Компланарність трьох векторів $(\vec{a}, \vec{\tau}'_1, \vec{\tau}'_2)$, які у випадку синхронних спостережень повинні лежати в одній площині.
2. Пучка площин (всі площини синхронізації для двох пунктів спостережень повинні перетинатися по одній хорді p_1, p_2).
3. Зв'язки площин. Перетин трьох площин синхронізації дає одну точку. Наявність четвертої площини веде до умови перетину всіх чотирьох площин в одній точці.

Для зрівноваження супутникових мереж триангуляції застосовують три методи:

1. Параметричний, в якому зрівноваження похибок вимірних величин γ' і δ' (обернених гринвіцьких часових кутів та схилень) рішають за умови:

$$[P_S V_S^2] + [P_{\delta'} V_{\delta'}^2] = \min \quad (3.6)$$

Рівняння похибок в даному випадку прості і стандартні (що зручно для обчислень на ЕОМ), але необхідно визначити наближені координати пунктів і ШСЗ $X^\circ, Y^\circ, Z^\circ$

2. Корелатний метод з додатковими невідомими (метод умовних вимірів). При цьому умовні рівняння площин синхронізації рішення за умови

$$\left[P_{\gamma'} V_{\gamma'}^2 \right] + \left[P_{\delta'} V_{\delta'}^2 \right] + 2 \left[K_i (a_1 \xi + a_2 \eta + a_3 \zeta) + \dots \right] = \min \quad (3.7)$$

де K_i – корелати, а ξ, η, ζ - додадкові невідомі (поправки в напрямки і довжини хорд або в координати пунктів).

Лише ці два способи є цілком строгими, якщо в мережі маємо спостереження ШСЗ більш ніж з двох пунктів.

3. Метод замикаючих напрямків. У цьому методі спочатку рішення похибок для кожної замикаючої під умовою $\left[P_{\gamma'} V_{\gamma'}^2 \right] + \left[P_{\delta'} V_{\delta'}^2 \right] = \min$ і отримають сферичні кути „замикаючих” Ψ_{ik}, Λ_{ik} . Після вважають вимірними величинами і рішення похибок цих кутів під умовою

$$\left[P_{\psi} V_{\psi}^2 \right] + \left[P_{\Lambda} V_{\Lambda}^2 \right] = \min \quad (3.8)$$

Метод являється строгим для мережі побудованій по методу замикаючих напрямків.

Найбільший порядок мають матриці в параметричному та корелатному методах, але для ЕОМ перший зручніший.

Нижче буде розглянутий параметричний метод зрівноваження супутникової триангуляції. У цьому випадку вимірними величинами являються γ' і δ' , які є функціями невідомих параметрів – прямокутних координат X, Y, Z ШСЗ і визначаємих пунктів. Для двох пунктів I і K рівняння поправок

$$-\frac{\partial \gamma}{\partial x_i} dX_i - \frac{\partial \gamma}{\partial y_i} dY_i - \frac{\partial \gamma}{\partial z_i} dZ_i + \frac{\partial \gamma}{\partial x_k} dX_k + \frac{\partial \gamma}{\partial y_k} dY_k + \frac{\partial \gamma}{\partial z_k} dZ_k + l_{ik}^{\gamma} = V_{ik}^{\gamma} \quad (3.9)$$

$$-\frac{\partial \delta}{\partial x_i} dX_i - \frac{\partial \delta}{\partial y_i} dY_i - \frac{\partial \delta}{\partial z_i} dZ_i + \frac{\partial \delta}{\partial x_k} dX_k + \frac{\partial \delta}{\partial y_k} dY_k + \frac{\partial \delta}{\partial z_k} dZ_k + l_{ik}^{\delta} = V_{ik}^{\delta} \quad (3.10)$$

де вільні члени l знаходяться як різниці „обчислені значення мінус вимірні”

$$l^{\gamma} = \gamma^{\circ} - \gamma; \quad l^{\delta} = \delta^{\circ} - \delta \quad (3.11)$$

При цьому

$$tg \gamma = \frac{Y_s^{\circ} - Y}{X_s^{\circ} - X}, \quad (3.12)$$

$$tg \delta^{\circ} = \frac{Z_s^{\circ} - Z}{\sqrt{(X_s^{\circ} - X)^2 + (Y_s^{\circ} - Y)^2}} \quad (3.13)$$

де $X^{\circ}, Y^{\circ}, Z^{\circ}$ - наближені координати ШСЗ і визначаємих пунктів, які можуть бути отримані із рішення прямих просторових засічок (див. Роботу №2).

Коефіцієнти a, b, c представляють собою частинні похідні виду

$$a_{1.3} = \frac{\partial \gamma}{\partial x} = -\frac{\sin^2 \gamma \rho''}{\Delta y}, \quad b_{1.3} = \frac{\partial \gamma}{\partial y} = \frac{\cos^2 \gamma \rho''}{\Delta x}, \quad c_{1.3} = \frac{\partial \gamma}{\partial z} = 0 \quad (3.14)$$

$$a_{1.3} = \frac{\partial \delta}{\partial x} = -\frac{\sin \delta \cos \gamma \rho''}{\tau'}, \quad b_{2.4} = \frac{\partial \delta}{\partial y} = \frac{\sin \delta \sin \gamma \rho''}{\tau'}, \quad c_{2.4} = \frac{\partial \delta}{\partial z} = \frac{\cos \gamma \rho''}{\tau'}. \quad (3.15)$$

Число рівнянь поправок дорівнює числу вимірів, тобто подвоєному числу напрямків на ШСЗ, які спостерігались; число нормальних рівнянь – числу невідомих координат, тобто потроєному числу ШСЗ і визначаємих наземних пунктів.

Отримавши наближені координати ШСЗ і пунктів, спочатку складають рівняння поправок і обчислюють їх вільні члени і коефіцієнти. Після складають і рішають нормальні рівняння, із рішення яких знаходять поправки наближених координат δX , δY , δZ .

Для контролю два рази знаходять зрівноважені значення вимірних величин: 1) як виміряні значення поправок мінус поправки V , 2) як обчисленні по зрівноваженим координатам.

Для оцінки точності обчислюють:

1. середню квадратичну похибку одиниці ваги $\mu = \sqrt{\frac{PV^2}{n-k}}$ (3.16)

2. ваги координат самого слабого пункту P_n по способу Енке.

Так, для прямої просторової засічки:

$$P_{Z_n} = [PCC \cdot 2]; \quad P_{Y_n} = P_{Z_n} \frac{[pbb \cdot 1]}{[psc \cdot 1]}, \quad (3.17)$$

$$P_{X_n} = \frac{[paa][psc] - [pac]^2}{[pbb][psc] - [pbc]^2}, \quad (3.18)$$

3. похибки координат і положення пункту P

$$m_x = \frac{\mu}{\sqrt{P_x}}, \quad m_y = \frac{\mu}{\sqrt{P_y}}, \quad m_z = \frac{\mu}{\sqrt{P_z}} \quad (3.19)$$

$$M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (3.20)$$

Контрольні питання

1. Види супутникових мереж і склад вимірів у них.
2. Основні елементи і побудови супутникової триангуляції.
3. Порядок рішення прямої і оберненої просторових засічок.
4. Способи зрівноваження супутникової триангуляції і трилатерації і їх вибір.
5. Порядок зрівноваження супутникової триангуляції параметричним методом
6. Оцінка точності зрівноваження.
7. Проекти супутникових мереж і ходів.

Зміст роботи

Використовуючи середні наближені координати ШСЗ із роботи №2 зрівноважити параметричним методом з оцінкою точності пряму просторову засічку.

Порядок роботи

1. Виписати вихідні дані і виміряні величини (із роботи №2).
2. Обчислити вільні члени і коефіцієнти рівнянь поправок і скласти таблицю рівнянь поправок (приймавши ваги $P=1$).
3. Скласти і рішити нормальні рівняння.
4. Виконати контроль зрівноваження.
5. Виконати оцінку точності (обчислити μ , P_X , P_Y , P_Z , m_X , m_Y , m_Z , і M).

Література

1. Бойко Е.В., Кленицький Б.М. Построение, уравнение и оценка точности космических геодезических сетей. – М.: Недра, 1982, гл.IV, 15-17, 19 гл. V, 20, 21, 26.
2. Краснокрылов И. И., Плахов Ю.В. Основы космической геодезии – М.: Недра, 1976, гл.V, 1...7.

Примітка

1. При зрівноваженні прямою просторовою засічкою у рівняннях поправок (3.9), (3.10) перші три члени відсутні.
2. Якщо коефіцієнти рівнянь поправок будуть дуже малі (менше вільних членів), то їх можна збільшити в 10 раз. Але при цьому необхідно поправки координат δX , δY , δZ збільшити у 10 раз, а ваги P_Y , P_Z (обчислені за формулами 3.17) зменшити в 10 раз.
3. Супутникову трилатерацію також зручно зрівноважувати параметричним методом, використовуючи рівняння поправок

$$-\cos\alpha dX_i - \cos\beta dY_i - \cos\gamma dZ_i + \cos\alpha dX_k + \cos\beta dY_k + \cos\gamma dZ_k + l_{ik}^\tau = V_{ik}^\tau \quad (3.21)$$

$$\text{де } l_{ik}^\tau = \tau_{ik}^\tau - \tau_{ik} \quad \cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma - \text{направляючі косинуси}$$

Приклад обчислень

1. Вихідні данні і вимірювання величини нульового варіанту

	P_1	P_2		S
x_i	3698631	3183780	X_S°	5571143
y_i	-2308821	-1421510	Y_S°	-2504256
z_i	4639732	5322971	Z_S°	5355995
γ'_i	$23^h 36^m 10,25^s$	$22^h 22^m 24,80^s$		
γ''_i	$354^\circ 02' 33,75''$	$355^\circ 36' 12,00''$		
δ_i	$20^\circ 49' 41,5''$	$0^\circ 43' 21,0''$		
(τ')	$(2014)_{\text{KM}}$	$(2621)_{\text{KM}}$		

	P ₁	P ₂		P ₁	P ₂
Δx_i	1872512	2387363	Δx^2	$3506301 \cdot 10^6$	$5699502 \cdot 10^6$
Δy_i	-195435	-1082746	Δy^2	$38195 \cdot 10^6$	$1172339 \cdot 10^6$
Δz_i	716263	33024	$\Delta x^2 + \Delta y^2$	$3544496 \cdot 10^6$	$6871841 \cdot 10^6$
$\text{tg} \gamma_i$	-0,1043705	-0,4535322	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$	1822683	2621420
γ_i	$354^\circ 02' 29,70''$	$355^\circ 36' 15,04''$	$\text{tg} \delta_i$	0,3804480	0,0125978
γ_i	33,75	12,00	δ_i	$20^\circ 49' 45,18''$	$0^\circ 43' 18,34''$
l^i	-4,05''	+3,04	l^δ	+3,68''	-2,66''

2. обчислення вільних членів l^i, l^δ

3. Таблиця коефіцієнтів рівнянь поправок

№	п/п	$a(\delta x)$	$b(\delta y)$	$c(\delta z)$	l	S	V	V^2
		0,26	12,72	-9,58				
1	γ_1	+0,0114	+0,1090	0	-4,05''	-3,9296	-2,88''	8,29
2	γ_2	0,0325	+0,0717	0	3,04	3,1442	4,03	16,24
3	δ_1	-0,0362	+0,0038	+0,0957	3,68	3,7433	2,8	7,84
4	δ_2	-0,0009	+0,0004	+0,0787	-2,66	-2,5818	-3,41	11,63
	Σ	0,0068	0,1894	0,1744	0,01	0,3761	$[V^2]$	44,00

4. Таблиця коефіцієнтів нормальних рівнянь.

	$a]$	$b]$	$c]$	$l]$	$s]$	Контроль
$[a$	0,00250	0,00343	-0,0054	-0,0782	-0,0759	-0,0758
$[b$		0,01702	-0,00039	0,2136	-0,1924	-0,1928
$[c$			0,01535	0,1428	0,1550	0,1550

5. Рішення нормальних рівнянь

	a	b	c	l	s	Контроль
I	0,00250	0,00343	-0,00354	-0,0782	-0,0759	-0,0758
E ₁	-1	-1,373	1,416	31,28	30,360	30,320
II		0,01702	0,00040	-0,2136	-0,1928	
IE ₁		-471	+486	0,1074	0,1042	
II'		0,011231	0,00526	-0,1062	-0,0886	-0,0886
E ₂		-1	-0,4213	8,6271	7,1974	
III			0,01535	0,1428	0,1550	
IE ₂			-501	-0,1107	0,1075	
II'E ₂			-225	0,0454	0,0378	
III'			0,00809	0,0775	0,0853	0,0853
E ₃			-1	-9,58		
δ_z			-9,58	-9,58		
δ_y		12,72	4,094	8,627		
δ_x	0,26	-17,46	-13,565	31,280		

6. Обчислення зрівноважених координат.

	X	Y	Z
X_s°	5571143	Y_s°	-2504256
		Z_s°	5355995

δ_x	0,3	δ_y	12,7	δ_z	-9,6
X_S	5571143,3	Y_S	-2504243,3	Z_S	5355985,4

7. Контроль зрівноваження

	P_1	P_2		P_1	P_2
Δx	1872512,3	2387363,3	Δx^2	$3506323 \cdot 10^6$	$5699501 \cdot 10^6$
Δy	-195422,3	-1082733,3	Δy^2	$33192 \cdot 10^6$	$1172311 \cdot 10^6$
Δz	716253,4	33014,4	$\Delta x^2 + \Delta y^2$	$3544515 \cdot 10^6$	$6871813 \cdot 10^6$
$\text{tg } \gamma^{3p}$	-0,1043638	-0,4635268	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$	18825888	262141
γ^{3p}	$354^\circ 02' 31,07''$	$335^\circ 36' 15,96''$	$\text{tg } \delta^{3p}$	0,3804419	0,0125941
γ_i	33,75	12,00	δ^{3p}	$20^\circ 49' 44,09''$	$0^\circ 43' 17,58''$
v_j	-2,88	4,03	δ_i	41,5	21,0
γ_i^{3p}	$354^\circ 02' 30,82''$	$335^\circ 36' 16,03''$	v_j	2,80	-3,41
			δ_i^{3p}	$20^\circ 49' 44,30''$	$0^\circ 43' 17,59''$

8. Оцінка точності

Середня квадратична похибка одиниці ваги $\mu = \sqrt{\frac{[p \vartheta^2]}{n-k}} = \sqrt{\frac{44,0}{4-3}} = 6,6''$.

Ваги невідомих

$$P_z = [CC \cdot 2] = 0,0081, P_y = P_z \frac{[bb \cdot 1]}{[CC \cdot 1]} = 0,081 \frac{0,0123}{0,0103} = 0,0096, [bb \cdot 1] = [bb] - \frac{[ab]^2}{[aa]} = 0,0123;$$

$$[cc \cdot 1] = [cc] - \frac{[ac]^2}{[aa]} = 0,01535 - 0,00501 = 0,01034.$$

$$P_x = \frac{[aa][cc] - [ac]^2}{[bb][cc] - [bc]^2} = \frac{0,0000373 - 0,0000125}{0,0002596 - 0,000000} = 0,0954, \sqrt{P_z} = 0,09, \sqrt{P_y} = 0,098, \sqrt{P_x} = 0,31.$$

Похибки координат

$$m_z = \frac{6,6}{0,09} = 73, m_y = \frac{6,6}{0,098} = 67, m_x = \frac{6,6}{0,31} = 21 \text{ м. } M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2},$$

$$M = \sqrt{10259} = 101 \text{ м.}$$

Нижче приводиться методика проведення лабораторної роботи, розроблена в ЧДІЕІУ.

Програма №3. Підготовка даних для зрівноваження супутникової триангуляції (визначення вільних членів і коефіцієнтів рівнянь поправок)

$F_{\text{прз}}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	3	ХП0	С/П	КХП4	FL0	04	ПХ6	С/П
10	-	ХП9	ПХ7	С/П	-	ХПА	:	$F1/x$	$F\text{tg}^{-1}$	С/П
20	$\overset{\frown}{K0\Pi\Pi}$	С/П	$\overset{\frown}{K0\Pi\Pi}$	ХП0	ПХ8	С/П	-	Хв.	ПХ9	FX^2
30	ПХа	FX^2	+	$F\sqrt{\quad}$:	$F\text{tg}^{-1}$	С/П	$\overset{\frown}{K0\Pi\Pi}$	ХП3	-
40	$\overset{\frown}{K0\Pi\Pi}$	С/П	ПХ0	F_{\sin}	FX^2	ПХе	Х	ПХа	:	I-I

50	ХП1	С/П	ПХ0	F_{\cos}	F_{X^2}	ПХе	Х	ПХ9	:	ХП2
60	С/П	ПХ3	F_{\sin}	ПХ0	F_{\cos}	Х	ПХе	Х	ХП4	С/П
70	ХП5	:	I – I	С/П	ПХ3	F_{\sin}	ПХ0	F_{\sin}	Х	ПХе
80	Х	ПХ5	:	С/П	ПХ3	F_{\cos}	ПХе	Х	ХП5	:
90	С/П	БП	08	F	АВТ					

Вихідні дані беруться із лабораторної роботи №2.

Протокол №3 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	206264,81		ρ "
2	В/О с/п		
3	5571144 с/п		X°
4	-2504256 с/п		Y°
5	5355995 с/п		Z°
6	3698631 с/п		X_1
7	-2308821 с/п		Y_1
8		5,958413°	Румб γ'_1
9	360°, +, с/п		
10		354°02'29,7"	γ_1°
11	354°02'33,75		γ_1
12	В ручному розрахунку	-4,05	$\ell^\gamma = \gamma_1^\circ - \gamma$
13	с/п		
14	4639732 с/п		Z_1
15		20,829206°	δ_1°
16	20°49'41,5" с/п		δ_1
17		$0,365 \cdot 10^{-3} = 3,65''$ с/п	ℓ_{δ_1}
18		+0,0114 с/п	a_{γ_1}
19		+01090 с/п	b_{γ_1}
20	2014332 с/п		r'_1
21		-0,0362 с/п	a_{δ_1}
22		-0,0038 с/п	b_{δ_1}
23		+0,0957 с/п	c_{δ_1}
24	3183780 с/п		X_2
25	-1421510 с/п		Y_2
26		-24,395814°	Румб γ_2
27	360°, +, с/п		

28		335°36'15,1"	γ_2°
29	335°36'12,0"		γ_2
30	В ручному рахунку	+3,10"	ℓ_{γ_2}
31	с/п		
32	5322971 с/п		Z_2
33		0,72175963°	δ_2°
34	0°43'21,0" с/п		δ_2
35		$-2,665 \cdot 10^{-4} = -2,66''$ с/п	ℓ_{δ_2}
36		+0,0325 с/п	a_{γ_2}
37		+0,0717 с/п	b_{γ_2}
38	2621629 с/п		r_2'
39		-0,0009 с/п	a_{δ_2}
40		-0,0004 с/п	b_{δ_2}
41		+0,0787	c_{δ_2}

Примітка. У методичних вказівках ЛПі невірно проставлені знаки у коефіцієнтах b_{δ_1} і b_{δ_2} , тому і вся процедура зрівноваження з її результатами некоректна.

Отриманні данні вписуємо у зведену таблицю коефіцієнтів рівнянь поправок

№ п/п	γ_i δ_i	$a(\delta x)$	$b(\delta y)$	$C(\delta z)$	ℓ''	S	g	g^2
1	γ_1	+0,0114	+0,1090	0	-4,05	-3,9296	-2,52	6,35
2	γ_2	+0,0325	+0,0717	0	+3,10	+3,2042	+3,36	15,68
3	δ_1	+0,0362	-0,0038	+0,0957	+3,65	+3,7057	+2,85	8,12
4	δ_2	-0,0009	-0,0004	+0,0787	-2,66	-2,5826	-3,48	12,11
Σ		+0,0068	+0,1765	+0,1744	+0,04	+0,3977		42,26
δ		- 6,158173	+14,722782	- 10,155926				

Програма №4 розрахунку коефіцієнтів нормальних рівнянь

F_{npz}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	C_x	ХП2	ХП4	ХП5	ХП7	ХП8	ХП9	ХПb	ХПc	ХПd
10	ХПе	С/П	ХП0	С/П	ХП1	FX^2	ПХ2	+	ХП2	С/П
20	ХП3	FX^2	ПХ4	+	ХП4	ПХ1	ПХ3	Х	ПХ5	+
30	ХП5	С/П	ХП6	FX^2	ПХ7	+	ХП7	ПХ1	ПХ6	Х

40	ХП8	+	ХП8	ПХ3	ПХ 6	Х	ПХ 9	+	ХП 9	С/П
50	ХПа	FX^2	ПХb	+	ХП b	Пха	ПХ 1	Х	ПХ c	+
60	ХПc	ПХ3	ПХа	Х	ПХ d	+	ХП d	ПХ6	Пха	x
70	ХПе	+	ХПе	$FL0$	13	ПХ2	С/П	ПХ5	С/П	ПХ4
80	С/П	ПХ8	С/П	ПХ9	С/П	ПХ7	С/П	ПХc	С/П	ПХd
90	С/П	ПХe	С/П	ПХb	С/П	БП	00	F	АВ Т	

Примітка. Програма розрахована на чотири нормальних рівнянь. Для трьох нормальних рівнянь робиться коректура програми: БП 49 F прг; БП 73 F АВТ. Для двох нормальних рівнянь програму коректують: БП 31 F прг; БП 73 F АВТ; для одного рівняння: БП 19 F прг; БП 73 F АВТ.

Протокол №4 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О с/п		
2	0,0144с/п		a_1
3	0,1090с/п		b_1
4	0 с/п		c_1
5	- 4,05 с/п		ℓ_1
6	0,325 с/п		a_2
7	0,0717 с/п		b_2
8	0 с/п		c_2
9	+310 с/п		ℓ_2
10	- 0,0362 с/п		a_3
11	-0,038 с/п		b_3
12	0,0957 с/п		c_3
13	+ 3,65 с/п		ℓ_3
14	- 0,0009 с/п		a_4
15	- 0,0004 с/п		b_4
16	+ 0,0787 с/п		c_4
17	- 2,66 с/п		ℓ_4
18		+ 0,00249746 с/п	[aa]
19		+ 0,00371077 с/п	[ab]
20		+ 0,01703649 с/п	[bb]

21		- 0,00353517 с/п	[ac]
22		- 0,00039514 с/п	[bc]
23		+0,01535218 с/п	[cc]
24		- 0,075156 с/п	[al]
25		- 0,231986 с/п	[bl]
26		+ 0,139963 с/п	[cl]
27		+ 46,4106	[ll]

Таблиця коефіцієнтів нормальних рівнянь

	a]	b]	c]	l]
[a	0,00249746	0,00371077	- 0,00353517	- 0,075156
[b		0,01703649	- 0,00039514	- 0,231986
[c			0,01535218	+ 0,139963

Представлення матриці коефіцієнтів нормальних рівнянь

$$R = \begin{pmatrix} 0,00249746 & 0,00371077 & -0,00353517 \\ 0,00371077 & 0,01703649 & -0,0003951 \\ -0,00353517 & -0,00039514 & +0,01535218 \end{pmatrix}$$

Програма №5 знаходження оберненої матриці розміром 3×3 і рішення нормальних рівнянь

$F_{прз}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП7	С/П	ХП8	С/П	ХП9	С/П	ХП4	С/П	ХП5
10	С/П	ХП6	С/П	ХП1	С/П	ХП2	С/П	ХП3	03	ХП0
20	ХП4	ПХ7	:	ХПd	ПХd	-	ХПc	ПХ5	ПХd	ПХ8
30	Х	-	ХПа	ПХ6	ПХd	ПХ9	Х	-	ХПb	ПХ1
40	ПХ7	:	ХПd	ПХd	-	ХП6	ПХ2	ПХd	ПХ8	Х
50	-	ХП4	ПХ3	ПХd	ПХ9	Х	-	ХП5	ПХ8	ПХ7
60	:	ХП1	ПХ9	ПХ7	:	ХП2	ПХ7	F1/x	ХП3	ПХа
70	ХП7	ПХb	ХП8	ПХc	ХП9	FLO	20	ПХ7	С/П	ПХ8
80	С/П	ПХ9	С/П	ПХ4	С/П	ПХ5	С/П	ПХ6	С/П	ПХ1
90	С/П	ПХ2	С/П	ПХ3	С/П	ХПа	ПХ7	Х	С/П	ХПb

100	ПХ8	x	+	С/П	ХПс	F	АВТ			
-----	-----	---	---	-----	-----	---	-----	--	--	--

Провадження програми в ручному рахунку

						ПХ9	X	+	δX	ПХ4
	ПХa	X	ПХ5	ПХb	X	+	ПХ6	ПХc	X	+
	δY	ПХ1	ПХa	X	ПХ2	ПХb	X	+	ПХ3	ПХc
	X	+	δZ							

Протокол №5 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О с/п		
2	2,49746 ВП3 - с/п		[aa]
3	3,71077 ВП3 - с/п		[ab]
4	- 3,53517 ВП3 - с/п		[ac]
5	3,71077 ВП3 - с/п		[ba]
6	1,703649 ВП2 - с/п		[bb]
7	- 3,951 ВП4 - с/п		[bc]
8	- 3,53517 ВП3 - с/п		[ca]
9	- 3,9514 ВП4 - с/п		[cb]
10	1,535218 ВП2 - с/п		[cc]
11		1094,2727 с/п	Q_{11}
12		- 232,6414 с/п	Q_{12}
13		245,99205 с/п	Q_{13}
14		- 232,6414 с/п	Q_{21}
15		108,19195 с/п	Q_{22}
16		- 50,786009 с/п	Q_{23}
17		245,99205 с/п	Q_{31}
18		- 50,786009 с/п	Q_{32}
19		120,47514 с/п	Q_{33}
20	0,075156 с/п		-[a ℓ]
21	0,231986 с/п		-[b ℓ]
22	- 0,139963 с/п	- 0,139963	-[c ℓ]
23-25	ПХ9, X, +	- 6,158173	δX

26-28	ПХ4, ПХa, X		
29-31	ПХ5, ПХb, X		
32-34	+, ПХ6, ПХc		
35-36	X, +	+ 14,722782	δY
37-39	ПХ1, ПХa, X		
40-42	ПХ2, ПХb, X		
43-45	+, ПХ3, ПХc		
46-47	X, +	- 10,155926	δZ

Представлення оберненої матриці

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1094,2727 & -232,6414 & +245,99205 \\ -232,6414 & 108,19195 & -50,786009 \\ +245,99205 & -50,786009 & 120,47514 \end{pmatrix}$$

Для системи нормальних рівнянь

$$R\delta + L = 0,$$

$$R\delta = -L,$$

$$\delta = -L \cdot R^{-1} = -L \cdot Q.$$

де вектор вільних членів

$$L = \begin{pmatrix} [al] \\ [bl] \\ [cl] \end{pmatrix},$$

матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь

$$R = \begin{pmatrix} [aa] & [ab] & [ac] \\ [ba] & [bb] & [bc] \\ [ca] & [cb] & [cc] \end{pmatrix}.$$

Програма №6. Контроль рішення нормальних рівнянь. Визначення поправок в кути.

F_{npg}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	Сх.	ХПе	С/П	ХП0	ХПd	0	С/П	КХП0	ПХ0	1
10	-	FX=0	06	ПХd	ХП0	КПХ0	С/П	X	ПХe	+
20	ХПе	ПХ0	1	-	FX=0	15	ПХe	С/П	Сх	ХПе
30	БП	13	F	АВТ						

Протокол №6 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О с/п		
2	4 с/п		$n+1$
3	-6,158173 с/п		δX

4	14,722782 с/п		δY
5	- 10,155926 с/п		δZ
6	2,49746 ВПЗ – с/п		$[aa]$
7	3,71077 ВПЗ – с/п		$[ab]$
8	- 3,53517 ВПЗ – с/п		$[ac]$
9		+ 0,07515599 с/п	- $[al]$
10	3,71077 ВПЗ – с/п		$[ba]$
11	1,703649 ВП2 – с/п		$[bb]$
12	- 3,951 ВП4 – с/п		$[bc]$
13		+ 0,23198557 с/п	- $[bl]$
14	- 3,53517 ВПЗ – с/п		$[ca]$
15	- 3,9514 ВП4 – с/п		$[cb]$
16	1,535218 ВП2 – с/п		$[cc]$
17		- 0,13996297 с/п	- $[cl]$
18	0,0114 с/п		a_{γ_1}
19	0,1090 с/п		b_{γ_1}
20	0 с/п		c_{γ_1}
21		1,53"-4,05 = -2,25 с/п	g_{γ_1}
22	0,0325 с/п		a_{γ_2}
23	0,0717 с/п		b_{γ_2}
24	0 с/п		c_{γ_2}
25		0,86"+3,10 = 3,96 с/п	g_{γ_2}
26	- 0,0362 с/п		a_{δ_1}
27	- 0,0038 с/п		b_{δ_1}
28	0,0957 с/п		c_{δ_1}
29		- 0,80+3,65 = 2,85 с/п	g_{δ_1}
30	- 0,0009 с/п		a_{δ_2}
31	- 0,0004 с/п		b_{δ_2}
32	+ 0,0787 с/п		c_{δ_2}
33		- 80-2,66 = 3,48 с/п	g_{δ_2}

Обчислювання зрівноважених координат

	X			Y			Z	
X_s^0	5571	144	Y_s^0	- 2504	256	Z_s^0	5355	995
δ_x		- 6,16	δ_y		+ 14,72	δ_z		- 10,16
X_s	5571	137,84	Y_s	- 2504	241,28	Z_s	5355	984,84

Програма №7. Контроль зрівноваження

$F_{\text{прз}}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	6	ХП0	С/П	КХП4	FL0	04	ПХа	ПХ7
10	-	ХПd	ПХ9	ПХ6	-	ХПс	:	Ftg^{-1}	$K_{\text{ош}}^{\leftarrow}$	С/П
20	ПХb	ПХ8	-	ХПе	ПХс	$FХ^2$	ПХ d	$FХ^2$	+	$F\sqrt{\quad}$
30	:	Ftg^{-1}	$K_{\text{ош}}^{\leftarrow}$	С/П	ХП6	С/П	ХП 7	С/П	ХП8	БП
40	08	F	АВТ							

Протокол №7 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О с/п		
2	3698631 с/п		x_1
3	-23088821 с/п		x_2
4	46397332 с/п		x_3
5	5571137,84 с/п		x_9
6	- 2504241,28 с/п		y_9
7	5355984,84 с/п		z_9
8		$-5^{\circ}57'28,75''$	$\gamma'_1 3p$
		$354^{\circ}02'31,25''$	$\gamma'_1 3p$
		$354^{\circ}02'31,23''$	Контр. $\gamma'_1 3p$
		$354^{\circ}02'33,75''$	γ_1
		-2,52	$\vartheta \gamma_1$
9	с/п		
10		$20^{\circ}49'44,45''$	$\delta_1 3p.$
		$20^{\circ}49'44,35''$	Контр.
		$20^{\circ}49'41,5''$	δ_1
		+ 285	$\vartheta \delta_1$
11	3183780 с/п		x_2
12	-1427510 с/п		y_2
13	5322971 с/п		z_2
14		$-24^{\circ}23'44,08''$	$\gamma'_2 3p$
		$335^{\circ}36'15,92''$	γ_2
		$335^{\circ}36'15,96''$	γ'_2 Контр.
		$335^{\circ}36'12,0''$	γ'_2
		+ 3,96	$\delta \gamma'_2$
15	с/п		

16		0°43'17,54"	δ_2 Зр.
		0°43'17,52"	Контр.
		0°43'31,0"	δ_2
		- 3,48	$\gamma \delta_2$

Оцінка точності

Середня квадратична похибка одиниці ваги

$$\mu = \sqrt{\frac{[p\vartheta^2]}{n-k}} = \sqrt{\frac{42,26}{4-3}} = \sqrt{42,26} = 6,50.$$

Похибки координат

$$m_x = \mu\sqrt{Q_{11}} = 6,5 \cdot 33,08 = 215; m_y = \mu\sqrt{Q_{22}} = 6,5'' \cdot 10,4 = 67,6;$$

$$m_z = \mu\sqrt{Q_{33}} = 6,5'' \cdot 10,97 = 71.$$

$$M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} = 236 м.$$

Порівнюючи результати традиційної методики зрівноваження супутникової триангуляції, приведеної у методичних вказівках ЛПі і методики ЧДІЕіУ відмітимо, що незважаючи на два невірних знаки у коефіцієнтах рівнянь поправок, приведених у методичних вказівках, результати зрівноваження виявилися однаковими, однакові і середні квадратичні похибки m_x і m_y , що говорить про коректність формул Енке.

Відносно формули $P_x = \frac{[aa][cc] - [ac]^2}{[bb][cc] - [bc]^2}$, приведеної у вище згаданих методичних вказівках, відмітимо її повну неспроможність. Адже коефіцієнти оберненої матриці приймають участь як у зрівноваженні, так а в оцінці точності, тому помилки при визначенні m_x у методиці ЧДІЕіУ нема.

Нам невідома з літературних джерел формула ЛПі. Однак для ще одного доказу її неспроможності звернемося до книги Уралова С.С. „Курс геодезической астрономии”. М.: Недра, 1980.592 с. На 176 сторінці приведена формула визначення ваги першого невідомого із системи трьох рівнянь поправок параметричного методу зрівноваження

$$P_x = \frac{\Delta}{\Delta_{11}}, \text{ де } \Delta = \begin{vmatrix} [aa] & [ab] & [ac] \\ [ba] & [bb] & [bc] \\ [ca] & [cb] & [cc] \end{vmatrix}; \Delta_{11} = \begin{vmatrix} [bb] & [bc] \\ [cb] & [cc] \end{vmatrix}.$$

розрахунок по даним формулам, приведеним у фундаментальному підручнику з геодезичної астрономії повністю підтверджує результати методики ЧДІЕіУ.

Робота №4. ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ФОТОГРАФІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ШСЗ

ВСТУПНІ ВІДОМОСТІ

Для рішення багатьох задач космічної геодезії (побудови космічних геодезичних мереж і т.і.) необхідно визначати положення ШСЗ в просторі в деякі фіксовані моменти часу. Такі визначення виконуються за допомогою оптичних або радіотехнічних методів спостереження. До оптичних методів відносяться візуальні, фотографічні і лазерні.

Фотографічні спостереження ведуться на супутникових установках з ширококутними фотографічними камерами з фокусною віддаллю $F = 0,25 \div 1$ м і системою реєстрації часу спостережень. В результаті спостережень отримують астронегатив (супутникограму) з отриманими зображеннями (слідами) ШСЗ і опорних зірок, а також запис моментів формування цих зображень (хронограму). Цілю попередньої обробки фото спостережень є обчислення топоцентричних екваторіальних координат ШСЗ і відповідних моментів часу в системі ИТ1.

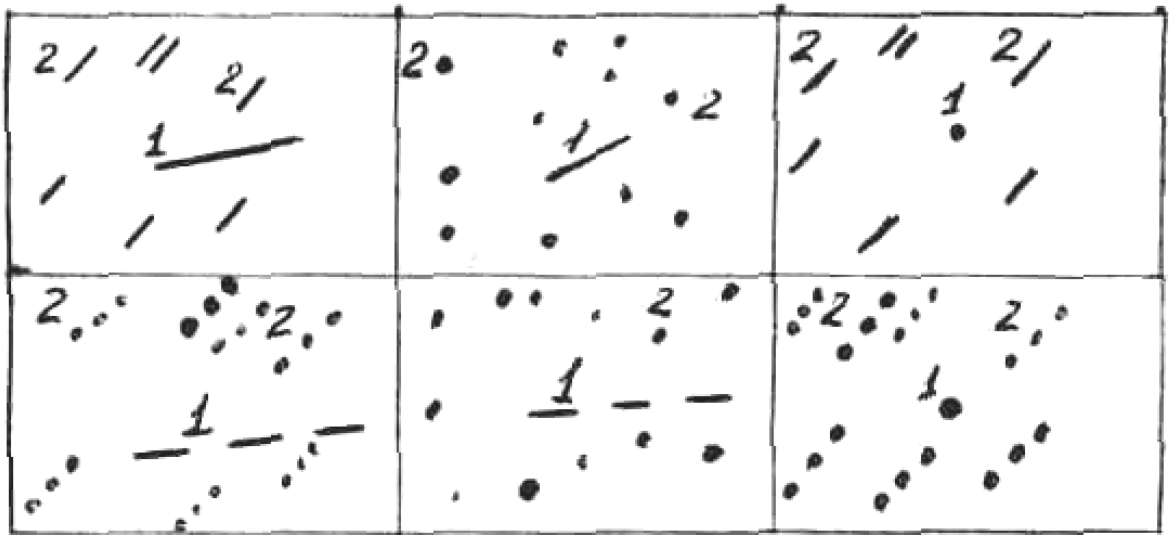
За допомогою супутникових установок можна спостерігати як активні ШСЗ (що мають на борту імпульсні лампи для подачі яскравих спалахів світла), які знаходяться в тіні Землі, так і пасивні ШСЗ (що не мають власного джерела світла), які освітлюються проміннями Сонця із-під горизонту станції спостереження або проміннями лазера, якщо ШСЗ знаходяться в тіні Землі.

В процесі спостереження фотокамеру наводять на область неба, через яку проходить ШСЗ, і коли він буде в центрі поля зору камери і видошукача, багатократно з різними видержками відкривають її затвор. При цьому на один і той же фото кадр багатократно відпечатуються зображення достатньо яскравих зірок і ШСЗ. Тривалість експозицій залежить від F і розраховуються так, щоб сліди зірок і ШСЗ мали точкові зображення діаметром $40 \div 60$ мкм.

Фотокамери, нерухомо зафіксовані в часі спостережень, дають можливість фотографувати тільки яскраві ШСЗ (до 4^m) і зірки (до 6^m). Для фотографування на слабких об'єктів сучасні супутникові установки мають пристрої, які переміщуються в часі спостережень фотокамеру або її касетну частину так, щоб світло від зірок і ШСЗ накопичувалося в одних і тих же точках фотоемульсійного шару. Для отримання точкових зображень спостерігаємих об'єктів і прив'язки спостережень до часу перед об'єктивом камер встановлюється додатковий затвор – *обтюратор*. Основні способи фотографування пасивних ШСЗ пояснює мал. 11, де лівий стовпчик відповідає нерухомій камері, середній – відсліджує зірки, правий – відсліджує ШСЗ. Верхній ряд супутникограм відноситься до спостережень без обтюратора, ніжній – з обтюратором.

Із приладів, створених у бувшому Союзі для фото спостережень ШСЗ з $F = 0,25$ м; АФУ-75 – астрономічна фото установка з $F = 0,25$ м; ФАС – фотоустановка для активних супутників; ВАУ – високоточна астрономічна установка. УФИСЗ-25 широко використовувалась у початковий період фотоспостережень ШСЗ і призначена для спостереження яскравих супутників в нерухомому режимі. АФУ-75 – найбільш широко використовується в наш час уні-

версальна установка, дає можливість спостерігати в різних режимах фотографування ШСЗ яскравістю до $8-9^m$, що рухаються з кутовими швидкостями від 100 до $5400''/c$. ВАУ- потужна сучасна установка для стаціонарних досліджень, на які спостерігають супутники і далекі космічні об'єкти яскравістю до 10^m і швидкостями $0-60005400''/c$.



Мал11. Основні види супутникограм пасивних ШСЗ. 1– слід ШСЗ, 2– слід зірки

Вид супутникограм залежить від режиму фотоспостережень, який вибирається в залежності від схилення області фотографування, яскравості і кутової швидкості супутника. Так як ШСЗ і опорні зірки відрізняються яскравістю і швидкістю руху, то для отримання їх точкових зображень необхідні різниці експозиції, наприклад, на УФНСЗ-25 точкові зображення яскравого супутника ($2-3^m$), що рухається з швидкістю $0,5\%$, отримують за $0,1c$, а для отримання точкових зображень зірок яркості 6^m при $\delta = 40^\circ$ потрібна витримка 2-3с. Тому фотографування ШСЗ і зірок для отримання їх точкових зображень виконується в різні моменти часу із різною витримкою, а сліди ШСЗ і зірок отримують у вигляді серій штрихів і точок.

Для обробки фотоспостережень на супутникограмі навколо сліду ШСЗ вибирають необхідну кількість (6-1г) опорних зірок. За допомогою зоряних карт і каталогів ототожнюють зірки і знаходять їх середні координати α, δ для деякої епохи. На негатив зі спеціального шаблону переносять оптичний центр 0 або головну точку знімка (основи перпендикуляра, опущеного на площину знімка із другої головної точки об'єкта камери). Після виконують вимірювання координат точок супутникограми на координатно-вимірювальній машині (монокомпараторі), наприклад, КИМ-3, УІМ, Аскорекорд (ГДР) і ін. При цьому виміряють з точністю 1-2 мкм плоскі прямокутні

координати x, y точкових зображень зірок і ШСЗ в системі, що задається двома взаємно перпендикулярними лініями мікроскопа, і грубіше – координатами x_0, y_0 оптичного центру знімка.

Знаючи екваторіальні координати α, δ опорних зірок і виміряні координати x, y опорних зірок, оптичного центра і ШСЗ, можна обчислити топоцентричні екваторіальні координати ШСЗ α_s, δ_s . При цьому повинні враховуватися поправки за дисторсію (спотворення) об'єктива, диференційну рефракцію і супутникову аберацію на момент спостережень, а також за вплив прецесії і власного руху зірок у проміжку між епохою середніх координат зірок і епохою спостереження ШСЗ.

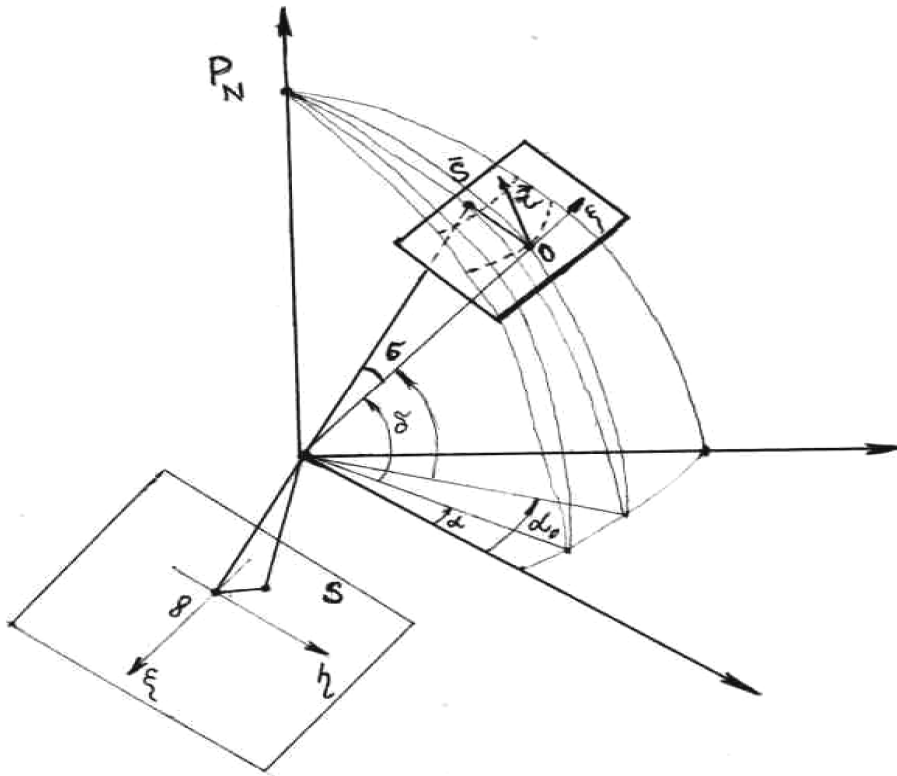
Точність положення ШСЗ, отриманого із обробки однієї супутникової знімки, для сучасних установок складає $1-2''$, а точність реєстрації моментів спостережень $0,001\text{с}$.

За кордоном приміряються установки „Байкар-Нанн” і „ВС” в США, „SBY” в Германії, „Познань” у Польщі, „Ньюїтта” в Англії і др. (див. Навчальний посібник І. Краснорилова і Ю. Плахова).

Математична обробка знімка основана на геометричних властивостях гномонічної (центральної) проекції області і зоряного неба на площині, відносно небесної сфери в точці її перетину $\bar{0}$ з оптичною віссю камери (або на площині знімка) і властивостях афінного (одного із лінійних) перетворювань знімка, див. мал. 12.

На мал. 12 частина небесної сфери, $\bar{0}$ – точка перетину її з оптичною віссю камери, P_N – північний полюс світу, S_0 – положення ШСЗ, η, ξ – осі прямокутних координат, які лежать в дотичній площині і направлені по колу схилень на північ і по великому крузі на схід. На знімку отримаємо обернене зображення дотичної площини. В центральній проекції великі круги небесної сфери зображуються прямими лініями, при чому зображення кругів схилень сходяться в точці P'_N – проекції полюса світу. Малі круги, в залежності від схилення δ_0 оптичного центра, зображаються при $\delta_0 = 90^\circ$ колами, при $90^\circ > \delta_0 > 0^\circ$ еліпсами при $\delta_0 = 0^\circ$ параболою.

Для встановлення зв'язку між екваторіальними координатами α, δ точок небесної сфери і виміряними координатами x, y їх проекції на знімку англійській астроном Г. Тернер у 1894р. ввів допоміжну систему прямокутних координат ξ, η , які називаються ідеальними (тангенціальними). Початком цих координат, як показано на мал. 12, є оптичний центр 0 , вісь η направлена по проекції круга схилень точки 0 до полюса, а вісь ξ по дотичній до проекцій добової паралелі точки 0 в сторону зростання α .



Мал. 12. Зображення ділянки небесної сфери на знімку

Зв'язок координат ξ , η і α , δ виражається формулами центральної проекції:

$$\overline{OS} = F \operatorname{tg} \delta; \quad (4.1)$$

$$\eta = F \operatorname{tg} \delta \cos \theta; \quad (4.2)$$

$$\xi = F \operatorname{tg} \delta \sin \theta; \quad (4.3)$$

де $0 = \angle SO\eta$. Формули (4.2) – (4.3) можуть бути представлені у вигляді

$$\eta = \frac{F [\cos \delta_0 - \operatorname{ctg} \delta \sin \delta_0 (\alpha - \alpha_0)]}{\sin \delta_0 + \operatorname{ctg} \delta \cos \delta_0 (\alpha - \alpha_0)}; \quad (4.5)$$

$$\xi = \frac{F \operatorname{ctg} \delta \sin (\alpha - \alpha_0)}{\sin \delta_0 + \operatorname{ctg} \delta \cos \delta_0 \cos (\alpha - \alpha_0)}; \quad (4.6)$$

або через допоміжний кут α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \delta \sec (\alpha - \alpha_0); \quad (4.7)$$

$$\eta = F \operatorname{tg} (\alpha - \delta_0); \quad (4.8)$$

$$\xi = F \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} (\alpha - \alpha_0) \sec (\alpha - \delta_0). \quad (4.9)$$

Для оберненого переходу служать формули

$$\operatorname{tg} (\alpha - \delta_0) = \frac{\eta}{F}; \quad (4.10)$$

$$\operatorname{tg} (\alpha - \alpha_0) = \frac{\xi}{F} \sec \alpha \cos (\alpha - \delta_0); \quad (4.11)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \alpha \cos (\alpha - \alpha_0); \quad (4.12)$$

Зв'язок координат ξ , η і x , y повинен враховувати неспівпадання початків і орієнтування систем, можливу неперпендикулярність і різномасштабність

осей x і y вимірних координат, похибки координат оптичного центра, а також спотворення взаємного розташування зірок внаслідок диференційної рефракції і аберації, що в першому наближенні відповідає лінійному афінному перетворенню, при якому зберігається паралельність прямих ліній і сітка квадратів перетворюється в сітку паралелограмів (в частковому випадку – прямокутників). Ці перетворення виражаються формулами:

$$\xi = a_1 + a_2x + a_3y, \quad (4.13)$$

$$\eta = b_1 + b_2x + b_3y. \quad (4.14)$$

Ці формули називають формулами Тернера або „формулами з шістьма постійними” (по числу шести параметрів перетворення).

Якщо скласти такі рівняння для трьох зірок, то, отримавши їх ідеальні координати за формулами (4.5) – (4.6), можна знайти із рівнянь для ξ три коефіцієнти Тернера a_i , а із рівнянь для η три коефіцієнти b_i .

При числі зірок більше трьох (звичайно 10-12 в радіусі 2°) рівняння (4.13), (4.14) розглядають як рівняння поправок і рішають їх по способу найменших квадратів. При цьому приходиться рішати дві системи із трьох нормальних рівнянь, які відрізняються лише вільними членами. Отримавши коефіцієнти Тернера, можна перейти від вимірних координат ШСЗ до ідеальних, а від них – до екваторіальних за формулами (4.10) – (4.12).

Якщо радіус поля опорних зірок більше 2° і потрібно враховувати нелінійні члени дисторсії, вплив якої має форму $K_1\delta + K_2\delta^3$, і диференційної рефракції, то слід використати „повну формулу Тернера” з 12 параметрами:

$$\xi = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2, \quad (4.15)$$

$$\eta = b_1 + b_2x + b_3y + b_4x^2 + b_5xy + b_6y^2, \quad (4.16)$$

і вести обчислення на ЕОМ. При цьому мінімальне число опорних зірок – шість.

У формулах (4.5), (4.6) входять невідомі координати α_0, δ_0 оптичного центру, тому у першому наближенні за оптичний центр приймають найближчу до нанесеної по шаблону точці 0 опорної зірки, а після уточнюють обчислення, використовуючи координати оптичного центра x_0, y_0 і формули (4.10) – (4.12).

Для наближеної обробки знімків з точністю 0,1–2' використовують спрощенні інтерполяційні способи А. А. Кисельова і А. Н. Дейча, в яких не потрібно знати екваторіальні координати оптичного центра 0.

У способі А. А. Кисельова використовуються три опорні зірки, що утворюють трикутник, в якій входить зображення ШСЗ (див. мал. 13). В цьому способі спочатку шляхом інтерполяції по лінії $S_1 S_2$ знаходять координати оптичного центра 0.

У способі А. А. Кисельова використовуються три опорні зірки, що утворюють трикутник, в який входить зображення ШСЗ (див. мал. 13). В цьому способі спочатку шляхом інтерполяції по лінії $S_1 S_2$ знаходять координати то-

чки S_{12} (перетину лінії $S_3 S_1 S_2$), а після шляхом інтерполяції по лінії $S_3 S_{12}$ знаходять координати ШСЗ α_s, δ_s .

При використанні двох опорних зірок вибирають точкові зображення супутника на лінії, що з'єднує ці опорні зірки (див мал. 14): проводять інтерполяцію по лінії $S_1 S_2$.

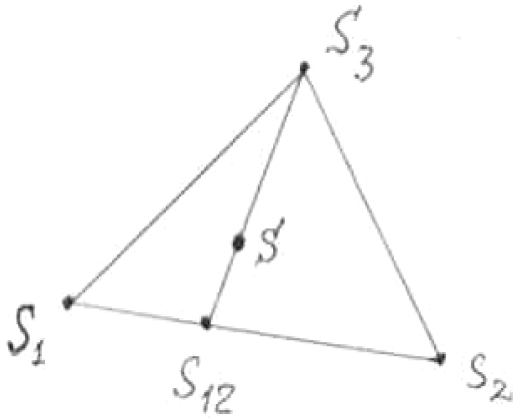
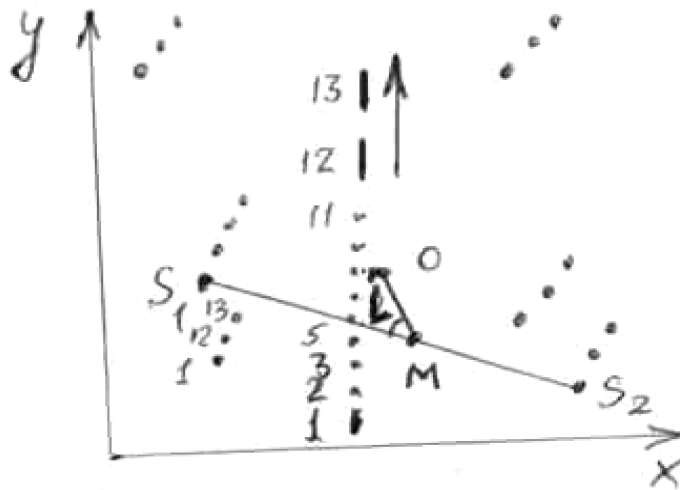


Рис 13. Схема подвійної інтерполяції



Мал 14. Супутникограма пасивного ШСЗ. Стрілкою показаний напрямок польоту. На слід супутника і однієї зірки пронумеровані експозиції

Для спрощення обчислень знімок при вимірюванні у вимірювальній машині орієнтують так, щоб слід ШСЗ розташовувався вздовж однієї із осей координат (частіше осі y). Якщо позначити через M середину відрізка $S_1 S_2$, то інтерполяційні форми А.Н. Дейча приймають вигляд:

$$\alpha_s = \alpha_1 + a_1' \Delta\alpha - a_1' a_2' \operatorname{tg} \delta_m \cdot \frac{1}{\rho} \Delta\alpha^s \Delta\delta'; \quad (4.17)$$

$$\delta_s = \delta_1 + a_1' \Delta\delta + a_1' a_2' \sin 2\delta_m \cdot \frac{1}{64\rho'} \cdot (\Delta\alpha^s)^2; \quad (4.18)$$

де інтерполяційні коефіцієнти і кути β, γ рівні:

$$a_1 = \bar{S}_1 \bar{S} \div \bar{S}_1 \bar{S}_2 = (x - x_1) \div (x_2 - x_1); \quad a_2 = 1 - a_1; \quad (4.19)$$

$$a_1' = a_1 + a_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \gamma \cos i; \quad a_2' = 1 - a_1'; \quad (4.20)$$

$$i = \angle S_1 M O; \quad \beta = \frac{\rho''}{F} \overline{OM}; \quad \gamma = \frac{\rho''}{F} \bar{S}_1 \bar{S}_2. \quad (4.21)$$

Якщо позначити множники, які можна вибирати із приведеної нижче таблиці

$$K_\alpha = \frac{1}{\rho'} \Delta\alpha^s \cdot \Delta\delta'; \quad K_\delta = \frac{1}{64\delta'} (\Delta\alpha^s)^2 \sin 2\delta_m; \quad (4.22)$$

то отримаємо формули

$$\alpha_s = \alpha_1 + a_1' \Delta\alpha - K_\alpha a_1' a_2' \operatorname{tg} \delta_m; \quad (4.23)$$

$$\delta_s = \delta_1 + a_1' \Delta\delta - K_\delta a_1' a_2'; \quad (4.23)$$

або:

$$\alpha_s = \alpha_1 + I_\alpha - II_\alpha; \quad \delta_s = \delta_1 + I_\delta + II_\delta. \quad (4.25)$$

Зірки S_1 і S_2 необхідно вибирати по різні сторони сліду ШСЗ як можна ближче до нього, щоб лінія $S_1 S_2$ круче пересікала слід ШСЗ і, по можливості, проходила через одно із точкових зображень ШСЗ.

Контрольні питання

1. Типи камер для фотографічних спостережень ШСЗ і режими фотографування.
2. Способи і прилади для реєстрації часу спостережень.
3. Визначення фокусної віддалі камери і оптичного центра знімка.
4. Підготовка до обробки знімків.
5. Прилади для вимірювання знімків ШСЗ і порядок вимірів.
6. Комплект установки УФІСЗ-25 для спостережень ШСЗ.
7. Приведення спостережень до моменту синхронізації.
8. Поняття про ідеальні координати і їх зв'язки з екваторіальними.
9. Зв'язок виміряних координат і ідеальних. Формули Тернера.
10. Порядок обчислення координат ШСЗ в наближених способах.

Література

1. Краснорылов Н.Н., Плахов Ю.В. Основы космической геодезии. – М.: Недра, 1976, гл. IV, § 1 – 4, 10.
2. Тищенко А.П. Геометрические методы космической геодезии. – М.: Наука, гл. III, §1, §3, §4.

Зміст роботи

По матеріалам вимірювання фотознімка ШСЗ обчислити наближено по способу А.Н. Дейча (див. мал. 14) екваторіальні координати ШСЗ.

Порядок роботи

1. Обчислити кути β і γ .

- Обчислити різниці $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$, коефіцієнти інтерполяції a_1 , a_2 , і уточнити їх (a_1' і a_2').
- Обчислити координати ШСЗ за формулами (4.17) – (4.19)

Приклади обчислень

1. Вихідні дані нульового варіанта

Точки	x	y	α	δ
S	159,18мм	134,60 мм		
S_1	148,56мм	138,75мм	$22^h31^m28,2^s$	$-1^\circ49'56,6''$
S_2	174,15мм	129,16мм	22 10 07,6	$-4^\circ58'02,2''$
0	156,7мм	138,6мм		
$F = 252 \text{ мм}, \quad \overline{MO} = 6,5 \text{ мм}; \quad \overline{S_1S_2} = 27,2 \text{ мм}; \quad i = 25^\circ$				

Індивідуальне завдання студента розраховується за формулами $\delta_i = \delta_0 + ab$, де ab – дві останні цифри залікової у секундах. $\alpha_i = \alpha_0 + ab$.

3. Обчислення різниць $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$ і інтерполяційних коефіцієнтів

α_2	$22^h10^m07,6^s$	δ_m	$-3^\circ24'01''$
α_1	22 31 28,2	$2\delta_m$	$-6^\circ48'02''$
$\Delta\alpha$	$21^m20,6^s$	$tg\delta_m$	$-0,05942$
$\Delta\alpha^S$	$-12^m80,6^s$	$\sin 2\delta_m$	$-0,1184$
$x - x_1$	10,62	a_1a_2	0,2428
x	1 59,18	$a_1a_2 \cos i$	0,2208
x_1	1 48,56	$tg\beta tg\gamma$	0,00278
x_2	1 74,15	$a_1a_2 \cos ix$	$0,00061$
$x_2 - x_1$	25,59	$xtg\beta tg\gamma$	$0,00061$
a_1	0,4150	a_1	0,4150
a_2	0,5850	a_1'	0,4156
		a_2'	0,5844

δ_2	$-4^\circ58'05,2''$
δ_1	$-1^\circ49'56,6''$
$\Delta\delta$	$-3^\circ08'08,6''$
$\Delta\delta'$	1 88,14
β	$1^\circ28'04''$
γ	6 11 04
i	25°
$tg\beta$	0,02562
$tg\gamma$	0,1084
$\cos i$	0,90663
ρ'	3438

3 Обчислення координат ШСЗ

α_1	$22^h 31^m 28,2^s$	δ_1	$-1^\circ 49,9'$
I_α	$-8 \ 52,25$	I_δ	$-118,2$
II_α	$1,0$	II_δ	$-0,2$
α_s	$22 \ 22 \ 37,0$	δ_s	$-3 \ 08,3$

Результат точних обчислень

$$\alpha_s = 22^h 22^m 44,8^s; \delta_s = -3^\circ 10' 07''.$$

Величини K_α і K_δ , вибрані із таблиці, рівні 70^s і $0,9'$

K_α інтерполюється слідувачим чином

	1000^s	Δ	1500^s
$3,0$	52	27	79
	$\Delta=9$		$\Delta=13$
$3,5$	61	31	92

$$\Delta\delta = 3,1^\circ$$

$$\Delta\alpha = 21^m \cdot 60^s + 21 = 1280^s$$

$$K_\alpha = (25 + 2) + \frac{27 + 31}{2} \cdot \frac{1280}{500} = 54 + 16 = 70.$$

$$K_\delta \text{ інтерполюється так: } \delta_m = 3,5^\circ; K_\delta = \frac{1,28 \cdot 3,5}{5} = 0,9'.$$

Таблиця коефіцієнтів K_α

$\Delta\alpha \backslash \Delta\delta$	500^s	100	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	500^s
$0,0^\circ$	0^s	0^s	0^s	0^s	0^s	0^s	0^s	0^s	0^s	0^s
$0,5$	4	9	13	17	22	26	31	35	39	44
$1,0$	9	17	26	35	44	52	61	70	79	88
$1,5$	13	26	39	52	65	79	92	105	118	130
$2,0$	17	35	52	70	87	105	122	140	157	175
$2,5$	22	44	65	87	109	131	153	175	196	218
$3,0$	26	52	79	105	131	157	183	210	236	262
$3,5$	31	61	92	122	153	183	210	244	275	306
$4,0$	35	70	105	140	175	210	244	279	314	350
$4,5$	39	79	118	157	196	236	275	314	354	382
$5,0^\circ$	44	87	131	175	218	262	306	349	393	473

Таблиця коефіцієнтів K_δ

$\Delta\alpha \backslash \Delta m$	500^s	100	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	500^s
0°	$0'$	$0'$	$0'$	$0'$	$0'$	$0'$	$0'$	$0'$	$0'$	$0'$
5°	0	1	2	3	5	7	10	13	16	20
10°	0	2	4	6	10	14	19	25	32	39

15°	1	2	5	9	14	20	28	36	46	57
20°	1	3	7	12	18	26	36	47	59	73
25°	1	4	8	14	22	31	43	56	71	87
30°	1	4	9	16	25	36	48	63	80	98
35°	1	4	10	17	27	38	52	68	86	107
40°	1	4	10	18	28	40	55	72	91	112
45°	1	5	10	18	28	41	56	73	92	114

Програма №8 Попередня обробка фотографічних спостережень ШСЗ
Робочі формули

1. Інтерполяційні коефіцієнти і кути β, α

$$a_1 = \bar{S}_1 \bar{S} \div \bar{S}_1 \bar{S}_2 = (x - x_1) \div (x_2 - x_1); \quad a_2 = 1 - a_1; \quad a_2' = 1 - a_1';$$

$$a_1' = a_1 + a_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \gamma \cos i; \quad i = \angle S_1 M O; \quad \bar{S}_1 \bar{S}_2 = 27,2 \text{ мм};$$

$$\beta^\circ = \frac{\rho^\circ}{F} \overline{OM}; \quad \gamma^\circ = \frac{\rho^\circ}{F} \bar{S}_1 \bar{S}_2; \quad F = 252 \text{ мм}; \quad \overline{MO} = 6,5 \text{ мм}$$

2. Обчислення координат ШСЗ

$$\alpha_s = \alpha_1 + a_1' \Delta \alpha - \frac{K_\alpha a_1' a_2' \operatorname{tg} \delta_m}{3600}; \quad \delta_m = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}; \quad \Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1;$$

$$\delta_s = \alpha_2 + a_1' \Delta \delta + \frac{K_\delta a_1' a_2'}{60}; \quad \Delta \delta = \delta_2 - \delta_1.$$

F_{npz}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	С/П	ХП1	-	С/П	ПХ1	-	:	ХП2	С/П
10	1	-	/-/	ХП3	С/П	ПХe	2	5	2	:
20	ХП4	6	*	5	Х	Ftg	ХП5	ПХ4	2	7
30	*	2	Х	Ftg	ХП6	Х	2	5	Fcos	Х
40	ПХ3	Х	ПХ2	Х	ПХ2	+	ХП7	С/П	1	-
50	/-/	ХП8	С/П	ПХ7	Х	ХП0	С/П		ХП9	С/П
60		ХПа	+	2	:	Ftg	ПХ0	Х	С/П	Х
70	/-/	Хв.	С/П		ХПd	С/П		ХПc	-	ПХ8
80	Х	ХПc	+	ПХв	С/П		С/П	ПХ0	Х	6
90	0	:	ПХ9	-	/-/	ХПв	ПХа	ПХ9	-	ПХ7
100	Х	ПХв	+		С/П	F	АВТ			

Протокол №8 розрахунку по програмі

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	57,295780 хпе		ρ^0
2	В/О с/п		
3	159,18 с/п		x
4	148,56 с/п		x_1
5		+10,62	$x - x_1$
6	174,15 с/п		x_2

7		0,41500586 с/п	a_1
8		0,5849941 с/п	a_2
9		0,41562097 с/п	a_1'
10		0,584379 с/п	a_2'
11		0,24288017	$a_1' a_2'$
12	1°49'56,6" с/п		δ_1
13	-4°58'02,2" с/п		δ_2
14	70 ^S с/п		$K_{\alpha}, -II_{\alpha}$
15	22 ^h 31 ^m 28,2 ^s с/п		α_2
16	22 ^h 10 ^m 07,6 ^s с/п		α_1
17	3600 : + с/п	22 ^h 22 ^m 36,97 ^s	α_s
18	0,9 с/п		K_{δ}
19		-3°08'20,246"	δ_s
20	ПХВ, K_{0III}^{\leftarrow}	-1°50'09,715"	$\delta_1 - II_{\delta}$

В приведенному прикладі, взятому із методичних вказівок ЛПі розрахунки велись за формулами

$$a_1' = a_1 a_2 \cos i \operatorname{tg} \gamma + a_1,$$

$$\text{а не } a_1' = a_2 \cos i \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \gamma + a_1,$$

$$\text{і } \delta_s = \delta_1 + I_{\delta} - II_{\delta},$$

$$\text{а не } \delta_s = \delta_1 + I_{\delta} + II_{\delta}.$$

При розрахунку по програмі отримані аутентичні результати.

Робота №5. ОБЧИСЛЕННЯ ДОВЖИНИ І НАПРЯМКУ КОСМІЧНО-ГО БАЗИСА (ПРОСТОРОВОЇ ХОРДИ)

ВСТУПНІ ВІДОМОСТІ

В залежності від цілей космічної тріангуляції можуть використовуватися три її види:

1. Окремі побудови для визначення положення одиноких пунктів (наприклад, для прив'язки острівних пунктів до материкових мереж).
2. Ряди для передачі координат на великі віддалі або для зв'язку значно віддалених місцевих систем координат.
3. Суцільні мережі для поширення єдиної системи координат на обширну територію (навіть на всю поверхню Землі).

Характерні особливості супутникової тріангуляції:

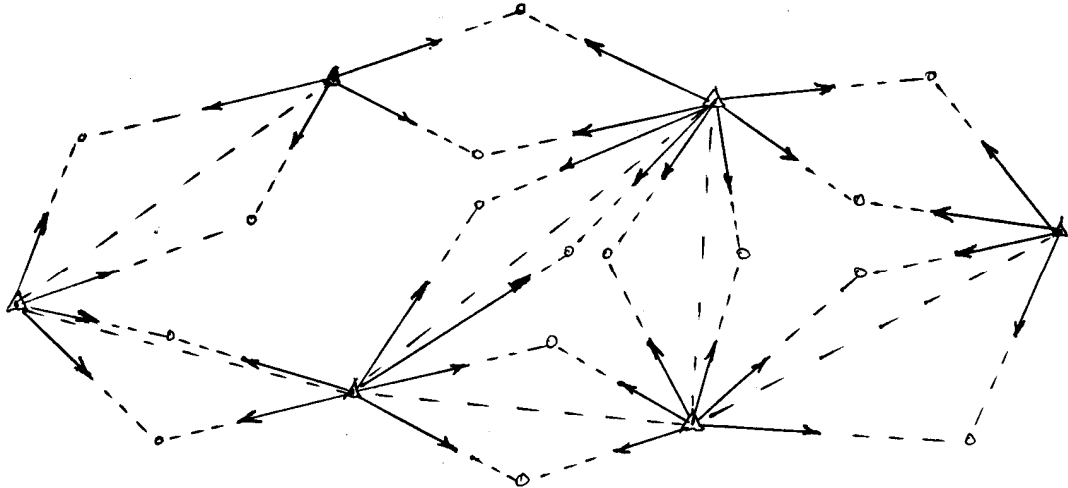
1. Всі її виміри використовують тільки з наземних пунктів і являються односторонніми.

2. Окремі положення ШСЗ визначаються грубіше, ніж пунктів спостережень, тому що кожне положення ШСЗ можна спостерігати лише однократно із невеликого числа пунктів (2 – 3).

3. При синхронних спостереженнях миттєвих положень ШСЗ виникає мало надлишкових вимірів. Тому для визначення невеликого числа пунктів по великому числі положень ШСЗ використовують спостереження, виконані за значний період часу, і обробляють їх сумісно по способу найменших квадратів.

Використання тих чи других побудов для створення супутникової тріангуляції визначається взаємним розташуванням пунктів на поверхні землі. При віддальх між вихідними пунктами, порівняними з віддальми до визначаємого пункту доцільно приміняти спосіб замикаючих напрямків (мал. 9), а при малій віддалі між вихідними пунктами – спосіб обернених просторових засічок (мал. 8).

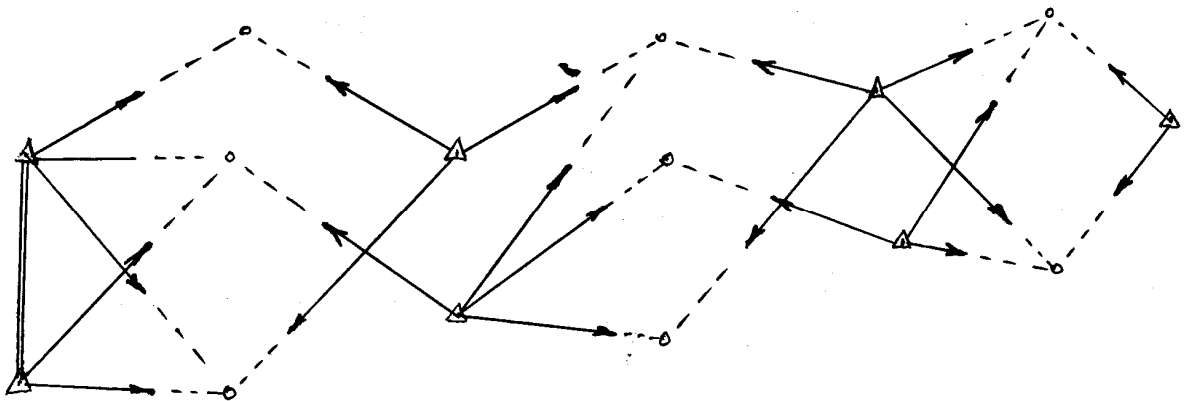
Якщо необхідно передати координати на великі віддалі, то будують ряди супутникової тріангуляції. Коли територія дозволяє розташувати пункти на граничних віддальх для даної висоти польоту ШСЗ, доцільно будувати ряди із замикаючих напрямків (мал. 15)



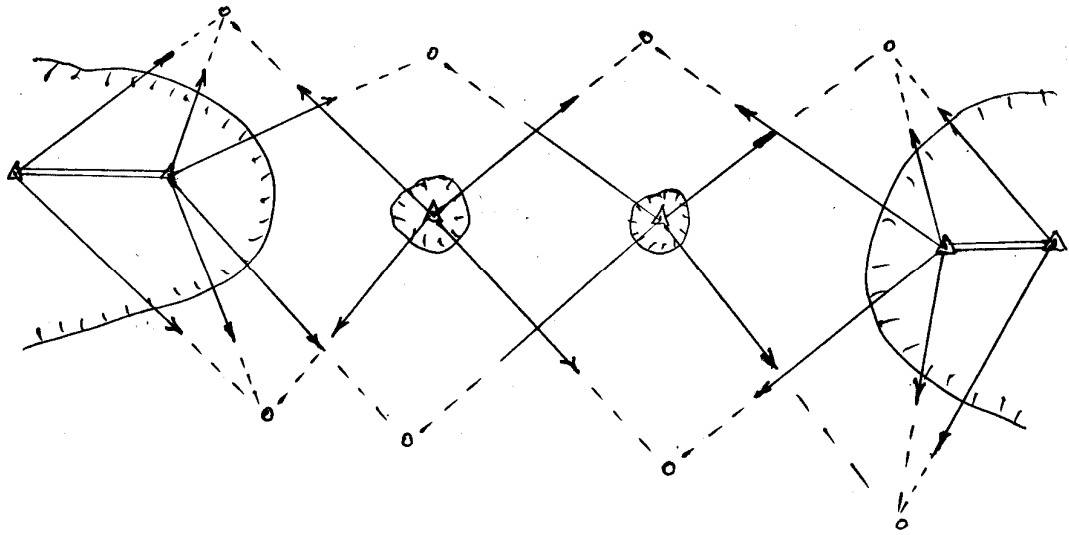
мал.15

Якщо територія дозволяє будувати ряд лише за допомогою послідовних пар близьких пунктів, то слід приміняти „поздовжні” обернені просторові засічки з розташуванні ШСЗ по одну сторону від визначаємих пунктів (мал. 16).

Якщо територія дозволяє передавати координати тільки шляхом послідовного визначення одиночних пунктів (наприклад, через ланку островів), то доцільно приміняти „поперечні” обернені просторові засічки при розташуванні ШСЗ по обидві сторони ходу (мал. 17).



мал. 16



мал. 17

На обширній території будують суцільні мережі супутникової тріангуляції, причому при великих віддальх краще використовувати засічки замикаючими напрямками, а при невеликих – обернені просторові засічки.

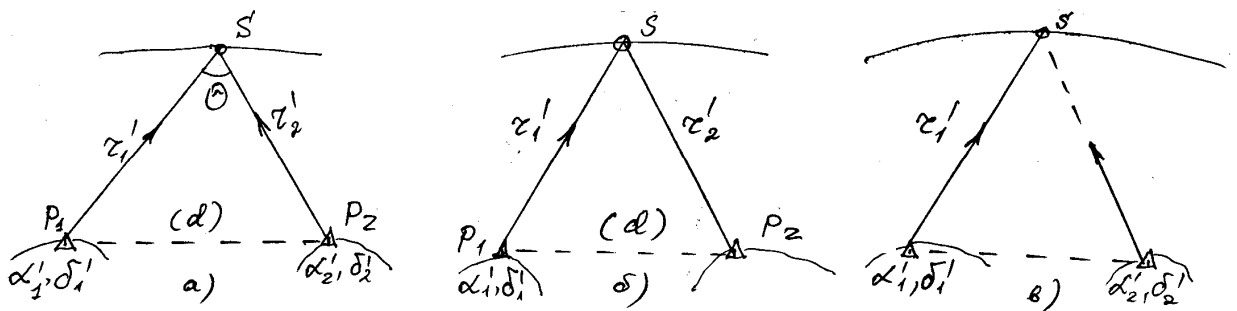
Докладніші відомості про побудову геодезичних мереж (Шміда, США, із 46 пунктів; І.Д. Жонголовича „Ікосаедра” із 12 або 13 пунктів) і векторних ходів (І.Д. Жонголовича „Велика хорда” – Арктика – Антарктида із 7 пунктів) приводяться у книзі І.І. Краснорилова і Ю.В. Плахова „Основи космічної геодезії”, глава V.

Для обробки мереж космічної тріангуляції необхідно знати довжини і напрямки в крайньому разі двох її сторін – космічних базисів, а у векторних ходах – всіх сторін, довжиною 100 – 300 км, з точністю не нижче $1:10^6$. Їх можна визначити трьома методами:

1. Безпосереднім геодезичним шляхом вимірювання довжин сторін (до 1000 км) за допомогою лазерних віддалемірів встановлених на літаках, а їх напрямків – несинхронними спостереженнями з кінців базиса спалахів на літаку.

2. Посереднім геодезичним шляхом, обчислюючи довжини і напрямки замикаючої ряду тріангуляції (або траверсної полігонометрії) „нульового класу”, в якому виміряються всі кути, всі сторони і виконується велике число астрономічних визначень широт, довгот і азимутів.

3. космічним – шляхом виконання синхронних лазерно фотографічних спостережень ШСЗ з кінців базиса.



Мал. 18

І.Д. Жонголович розглянув з варіанту таких визначень:

1. Вимірювання двох віддалей і двох напрямків на ШСЗ (мал 18 а).
2. Вимірювання двох віддалей і одного напрямку на ШСЗ (мал 18 б).
3. Вимірювання однієї віддалі і двох напрямків на ШСЗ (мал 18 в).

Для рішення задачі у випадках 2 і 3 необхідно попередньо визначити напрямки базиса (хорди) за допомогою космічної тріангуляції. Рішення задачі в загальному випадку 1 оснований на використанні слідує формул для геодезичних координат ШСЗ:

$$x = x_1 + r_1' \cos \delta_1' \cos \gamma_1' + \delta x_0 = x_2 + r_2' \cos \delta_2' \cos \gamma_2' + \delta x_0; \quad (5.1)$$

$$y = y_1 + r_1' \cos \delta_1' \sin \gamma_1' + \delta y_0 = y_2 + r_2' \cos \delta_2' \sin \gamma_2' + \delta y_0; \quad (5.2)$$

$$z = z_1 + r_1' \sin \delta_1' + \delta z_0 = z_2 + r_2' \sin \delta_2' + \delta z_0; \quad (5.3)$$

При цьому $\delta x_0, \delta y_0, \delta z_0$ – поправки для переходу від квазігеоцентричної системи координат (зв'язаної з центром еліпсоїда) до геоцентричної (зв'язаної з центром мас землі) при умові паралельності їх осей.

Із формулами (5.1) ÷ (5.3) легко отримати прирости координат:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = r_1' \cos \delta_1' \cos \gamma_1' - r_2' \cos \delta_2' \cos \gamma_2' = z_1' m_1' - z_2' m_2'; \quad (5.4)$$

$$\Delta y = y_2 - y_1 = r_1' \cos \delta_1' \sin \gamma_1' - r_2' \cos \delta_2' \sin \gamma_2' = r_1' n_1' - r_2' n_2' \quad (5.5)$$

$$\Delta z = z_2 - z_1 = r_2' \sin \delta_2' - r_1' \sin \delta_1' = z_1' r_1' - z_2' r_2'; \quad (5.6)$$

де m', n', r' – направляючі косинуси топоцентричних напрямків на ШСЗ.

Довжина хорди (базиса) буде дорівнювати

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}, \quad (5.7)$$

направляючі косинуси хорди

$$M_{12} = \frac{\Delta x}{d}, \quad N_{12} = \frac{\Delta y}{d}, \quad R_{12} = \frac{\Delta z}{d}, \quad (5.8)$$

і сферичні кути хорди

$$\operatorname{tg} \lambda_{12} = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad \operatorname{tg} \psi_{12} = \frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}. \quad (5.9)$$

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Види космічних геодезичних мереж і склад вимірів в них.
2. Принципи визначення кутів θ у великих хордових трикутниках супутникової тріангуляції.
3. Основи побудови супутникової тріангуляції.
4. Проекти світових космічних мереж і ходів (Шміда, „Іскосаедр” і „Велика хорда” І.Жончаловича).
5. Способи визначення довжини і напрямку космічного базиса.
6. Порядок обчислення довжини і напрямку космічного базиса по схемам І.Жончаловича

ЗМІСТ РОБОТИ

Використовуючи результати лазерно – фотографічних спостережень пасивного ШСЗ з двох кінців базиса P_1 і P_2 обчислити довжину і напрямок хорди $P_1 P_2$ (космічного базиса) з контролем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Краснорылов Н.Н., Плахов Ю.В. Основы космической геодезии. – М.: Недра, 1976, гл. V, §1 – 6, 11, 12.
2. Изотов А.А. и др. Основы спутниковой геодезии. – М.: Недра, 1974, гл. 5.

ПОРЯБОК РОБОТИ

1. Обчислити направляючі косинуси m, n, r .
2. Обчислити прирости координат $\Delta x, \Delta y, \Delta z$.
3. Обчислити довжину хорди d .
4. Вирахувати з контролем направляючі косинуси хорди і сферичні кути λ_{12} і ψ_{12} і зробити схематичний рисунок.

ПРИКЛАД ОБЧИСЛЕНЬ

1. Вихідні дані нульового варіанту

	P_1	P_2
γ_i	$0^h 47^m 05,13^s$	$4^h 28^m 29,77^s$
	$11^\circ 46' 16,95''$	$67^\circ 07' 26,55''$
δ_i	$39^\circ 40' 28,2''$	$77^\circ 04' 13,1''$
τ_i	603922 м	1409908 м

Індивідуальні варіанти завдань розраховуються за формулами:

$$\gamma_1' = 11^\circ 46' 16,95'' + a^\circ b' c''; \quad \gamma_2' = 67^\circ 07' 26,55'' + a^\circ b' c'';$$

$$\delta_1 = 39^\circ 40' 28,2'' + a^\circ b' c''; \quad \delta_2 = 77^\circ 04' 13,1'' + a^\circ b' c'';$$

де a, b, c – три останні цифри залікової книжки.

2. Обчислення направляючих косинусів

	P_1	P_2
m_i'	0,753 4969	0,086 8820
$\cos \gamma_i'$	0,978 9694	0,388 7374
$\cos \delta_i'$	0,769 6838	0,223 7553
$\sin \gamma_i'$	0,204 0070	0,921 3486
n_i'	0,157 0209	0,206 1566
r_i'	0,638 4253	0,974 6454
К о н т р о л ь		
m_i^2	0,567 7575	0,007 5659
n_i^2	0,024 6556	0,042 5005

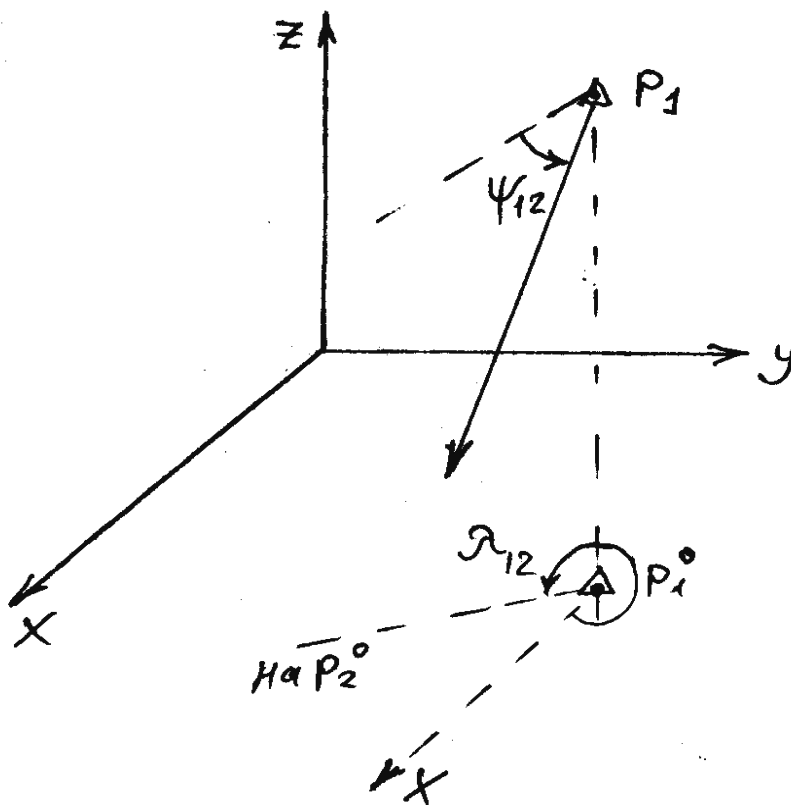
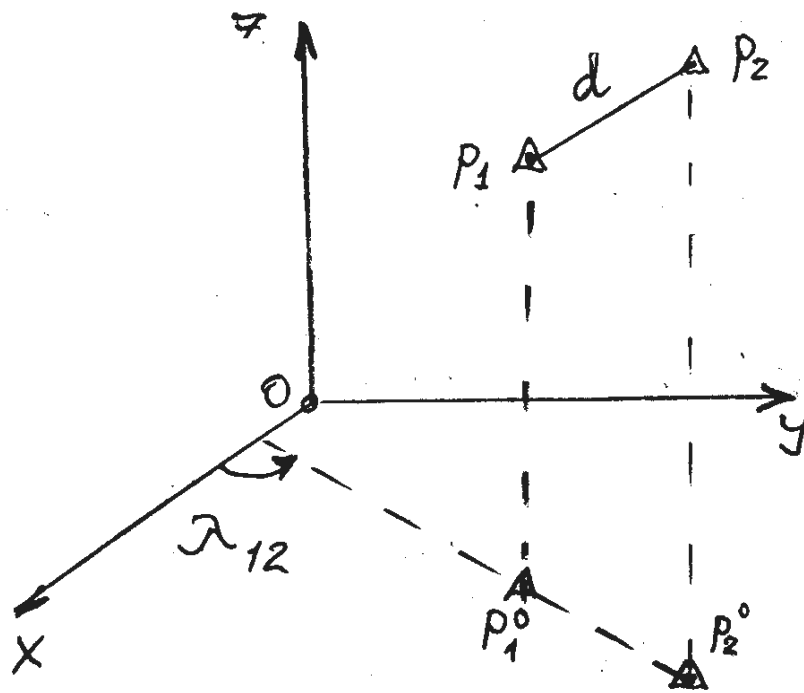
r_i^2	0,407 5869	0,949 9336
Σ	1,000 0000	1,000 0000

3. Обчислення прирости координат

$m_1' \tau_1'$	455 053,4
$-m_2' \tau_2'$	- 122 636,6
Δx	332 416,8
$n_1' \tau_1'$	24 828,4
$-n_2' \tau_2'$	- 290 661,8
Δy	- 195 833,4
$r_1' \tau_1'$	385 559,1
$-r_2' \tau_2'$	- 1374 160,3
Δz	- 988 601,2 [м]

4. Обчислення довжини і напрямку базиса (хорди)

Δx^2	$110500,9 \cdot 10^6$	M_{12}	0,3132408	M^2	0,0961198
Δy^2	$38356,7 \cdot 10^6$	N_{12}	- 0,1845364	N^2	0,0340537
Δz^2	$977332,3 \cdot 10^6$	R_{12}	- 0,9315722	R^2	0,8678268
d^2	$126183,9 \cdot 10^6$	d	1,061218	Σ	1,0000003
$\Delta x^2 + \Delta y^2$	$148851,6 \cdot 10^6$	$tg \lambda_{12}$	- 0,5891204	$tg \Psi_{12}$	- 2,562385
$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$	385812,9	λ_{12}	329°29'48,5"	Ψ_{12}	- 68°40'52,4"



Програма № 9. Обчислення довжини і напрямку космічного базиса (просторової хорди)

Робочі формули

1. Обчислення направляючих косинусів

$$m_1' = \cos \delta_1' \cos \gamma_1'; \quad m_2' = \cos \delta_2' \cos \gamma_2'; \quad \text{К о н т р о л ь}$$

$$n_1' = \cos \delta_1' \sin \gamma_1'; \quad n_2' = \cos \delta_2' \sin \gamma_2'; \quad m_i^2 + n_i^2 + r_i^2 = 1.$$

$$r_1' = \sin \delta_1'; \quad r_2' = \sin \delta_2';$$

2. Обчислити прирости координат

$$\Delta x = m_1' \tau_1' - m_2' \tau_2'; \quad \Delta y = n_1' \tau_1' - n_2' \tau_2'; \quad \Delta z = r_1' \tau_1' - r_2' \tau_2'.$$

3. Обчислення довжини і напрямку базиса (хорди)

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2},$$

направляючі косинуси хорди

$$M_{12} = \frac{\Delta x}{d}, \quad N_{12} = \frac{\Delta y}{d}, \quad R_{12} = \frac{\Delta z}{d},$$

К о н т р о л ь $M_{12}^2 + N_{12}^2 + R_{12}^2 = 1.$

і сферичні кути хорди

$$tg \lambda_{12} = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad tg \psi_{12} = \frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}.$$

F_{npz}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП	4	ХП0	С/П	K_{0III}^{\rightarrow}	$F \cos$	КХП4	$FL0$	04
10	ПХ7	Х	ХП0	С/П	ПХ6	ПХ8	Х	ХП1	С/П	ПХ8
20	ПХ6	$F \cos^{-1}$	$F \sin$	Х	ХП2	С/П	ПХ7	$F \cos^{-1}$	$F \sin$	ПХ9
30	Х	ХП3	С/П	ПХ8	$F \cos^{-1}$	$F \sin$	ХП4	С/П	ПХ9	$F \cos^{-1}$
40	$F \sin$	ХП5	С/П	FX^2	ПХ0	FX^2	+	ПХ3	FX^2	+
50	С/П	ПХ1	FX^2	ПХ2	FX^2	+	ПХ4	FX^2	+	С/П
60	ПХ1	С/П	ХПd	Х	ПХ0	С/П	ХПе	Х	-	ХПа
70	С/П	ПХ2	ПХd	Х	ПХ3	ХПе	Х	-	ХПb	С/П
80	ПХ4	ПХd	Х	ПХ5	ХПе	Х	-	ХПc	С/П	FX^2
90	ХПb	FX^2	+	ХПа	FX^2	+	$F\sqrt{\quad}$	ХП0	С/П	ХПа
100	ПХ0	:	ХП1	С/П	F	АВТ				

Продовження програми в ручному рахунку

					ХПb	ПХ0	:	ХП2	N_{12}	ХПc
	ПХ0	:	ХП3	R_{12}	FX^2	ПХ1	FX^2	+	ПХ2	FX^2
	+	Контр.	ХПb	ХПа	:	Ftg^{-1}	360°	+	λ_{12}	ХПc
	ХПа	FX^2	ХПb	FX^2	+	$F\sqrt{\quad}$:	Ftg^{-1}	K_{0III}^{\rightarrow}	ψ_{12}

Протокол № 9 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П		
2	$11^\circ 46' 16,95''$ с/п		γ_1
3	$67^\circ 07' 26,55''$ с/п		γ_2
4	$39^\circ 40' 28,2''$ с/п		δ_1

5	77°04'13,1" с/п		δ_2
6		0,086982061 с/п	m_2'
7		0,75349691 с/п	m_1'
8		0,15702077 с/п	n_1
9		0,20615666 с/п	n_2'
10		0,63842532 с/п	τ_1'
11		0,97464534 с/п	τ_2'
12		0,99999999 с/п	Контроль
13		1,00000000 с/п	Контроль
14	603922 с/п		r_1'
15	1409908 с/п		r_2'
16		332416,66 с/п	Δx
17		- 195833,62 с/п	Δy
18		- 988601,2 с/п	Δz
19		1061218,1 с/п	d
20		0,31324066 с/п	M_{12}
21-23	ПХb, ПХ0, :	- 0,18453663	N_{12}
24	ХП2		
25-28	ПХc, ПХ0. :, ХП3	- 0,93157212	R_{12}
29-32	F_X^2 , ПХ1, F_X^2 , +		
33-35	ПХ2, F_X^2 , +	1,0000001	Σ Контроль
36-38	ПХb, ПХa, :		
39	Ftg^{-1}	- 30,50323°	
40-42	360, +, $K_{0III}^{-\rightarrow}$	329°29'48,4"	λ_{12}
43-45	ПХc, ПХa, F_X^2		
46-49	ПХb, F_X^2 , +, $F\sqrt{\quad}$		
50-52	:, Ftg^{-1} , $K_{0III}^{-\rightarrow}$	- 68°40'52,37"	ψ_{12}

РОБОТА № 6. ЗГУЩЕННЯ ПУНКТИВ GPS НАЗЕМНИМ МЕТОДОМ ПАРНИХ ЛАНОК ЗАСІЧОК

ВСТУПНІ ВІДОМОСТІ

В наш час використовуються дві супутникові системи визначення координат і російська система ГЛОНАСС, яка являється аббревіатурою точної назви Глобальна Навігаційна Супутникова Система і американська система NAVSTAR GPS: NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System (навігаційна система визначення віддалей і часу, глобальна система позиціонування). В даному випадку під словом „позиціонування” мається на увазі визначення координат.

Координати в даних системах визначаються з середньою квадратичною похибкою $5 \text{ мм} + D \cdot 10^{-6}$, координати ж одинокого приймача можуть бути визначені з середньою квадратичною похибкою від 10 м до 100 м.

Всю навігаційну супутникову систему визначення місце розташування ділять на три сегменти: космічний сегмент; сегмент контролю и управління; сегмент користувачів (приймачі супутникових сигналів).

Сучасна система NAVSTAR GPS і ГЛОНАСС в повній комплектації повинна складатися із 21 діючого супутника і трьох запасних. Орбіти супутників практично кругові і розташовані в трьох орбітальних площинах (для ГЛОНАСС) і в шести орбітальних площинах (для NAVSTAR). Супутники обладнані сонячними батареями, які забезпечують енергією всі системи, в тому числі і під час проходження супутника в тіні Землі.

Орбіти супутників практично кругові і розташовані на геодезичній висоті, яка дорівнює 20180 км, і на віддалі 26600 км від центра Землі.

Така кількість супутників і їх розташування забезпечують одночасний прийом сигналів, як мінімум, від чотирьох супутників в будь-якій частині Землі.

Всі супутники рівномірно розташовані в шести орбітальних площинах. Період обертання супутників складає 12 годин зоряного часу, у зв'язку з чим кожний супутник з'являється в одному і тому ж місці кожен день на 4 хвилини раніше вчорашнього положення. Електроенергією супутник забезпечують дві сонячні батареї площею 7,2 кв. М кожна, заряджаючи акумулятори для забезпечення роботи здатності супутника під час його польоту в тіні Землі.

Кожний супутник забезпечений кварцовим стандартом частоти, двома цезієвими і двома рубідієвими стандартами частоти, які підтримують стабільність годинника супутника в межах $1 \cdot 10^{-12} \div 1 \cdot 10^{-13}$. Цезієві і рубідієві стандарти частоти координують і управляють основною частотою –кварцовим стандартом частоти, який генерує 10,23 МГц. Із основної частоти формують дві частоти діапазону частот з назвою L – діапазон.

$$L_1 = 10,23 \cdot 154 = 1575,42 \text{ МГц (довжина хвилі 19,05 см)},$$

$$L_2 = 10,23 \cdot 120 = 1227,60 \text{ МГц (довжина хвилі 24,45 см)}.$$

Ці дві частоти (називаються несучими) через модулятор надходять на антену і передають на Землю інформацію. Інформація накладається на несучу частоту методом імпульсно-фазової модуляції. Модуляція сигналу – це зміна

будь-якого параметра електричного сигналу (при амплітудній модуляції змінюється амплітуда сигналу, при частотній модуляції змінюється частота сигналу).

Наземний сегмент системи ГЛОНАСС складається з : центра управління системою (ЦУС), контрольних станцій (КС), командної станції слідкування (КСС), квантово-оптичних станцій слідкування за роботою бортових пристроїв супутників.

На головній станції контролю обробляють всю інформацію, що надходить, обчислюють і прогнозують ефемериди супутників і поправки в годинники супутників, формують навігаційні повідомлення супутникам.

Приймач отримує сигнали від декількох супутників (не менше чотирьох) і фазові вимірювання виконуються по всім каналам одночасно.

Результати вимірювань фазових циклів є основою для обчислення приростів координат пунктів, на яких були виконані синхронні вимірювання.

Для виконання фазових вимірювань на несучій частоті необхідно провести демодуляцію сигналу (очистити сигнал від модуляції). Одним із способів демодуляції сигналу є квадратування, тобто множення сигналу самого на себе.

В наш час найбільше поширення набули приймачі одно частотні (L_1) дванадцяти каналні і двочастотні (L_1 і L_2) по дванадцять каналів на кожен частоту. Такими приймачами можна одночасно приймати сигнали від дванадцяти супутників.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Загальні відомості про супутникову систему ГЛОНАСС.
2. Загальні відомості про супутникову систему GPS.
3. Точність визначення приростів координат в супутникових системах.
4. Три сегменти навігаційної супутникової системи.
5. Параметри орбіти супутників GPS.
6. Період обертання супутників GPS.
7. Забезпечення енергією супутників GPS.
8. Несучі частоти L – діапазону.
9. Наземний сегмент супутникової системи.
10. Головна станція контролю.
11. Приймачі GPS.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дульцев А.Т., Цюпак І.М. „Методичні вказівки до лабораторної роботи на тему „Визначення координат пункту за виміряними псевдо відстанями, отриманими з GPS – спостережень”.- Львів: ДУ „Львівська політехніка”, 1997, - 20 с.
2. Мороз О.І., Терещук О.І., Щербань І.Б. „Будова, основні частини та принципи роботи з тотальною станцією LEICA 403L.” – Львів: ДУ ”Львівська політехніка”, 2000, - 13 с.

3. Літнарівч Р.М. „Теорія ряду парних ланок засічок, який прокладається між пунктами визначеними по системі GPS. Інженерна геодезія. Випуск 45”,- Київ, КНУБА, 2001, - с. 141...148.
4. Літнарівч Р.М. Згущення мережі GPS. Матеріали науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу та студентів УДАВГ, присвяченої 50-річчю перемоги у Великій Вітчизняній війні. Секція геодезії та землевпорядкування. Рівненський філіал інституту землеустрою ІААН. – Рівне, 1996, - с.33...34.
5. Літнарівч Р.М. Польовий контроль під час створення планової геодезичної основи методом парних ланок засічок. – „Геодезія, картографія і аерофотознімання”. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 56.- Львів. Видавництво „Львівська політехніка”, 1995, - с. 26...32.
6. Літнарівч Р.М. Розрахунок попередніх координат пунктів при створенні планової геодезичної основи методом парних ланок засічок. „Геодезія, картографія і аерофотознімання”. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 57.- Львів. Видавництво „Львівська політехніка”, 1996, - с. 40...48.

ЗМІСТ РОБОТИ

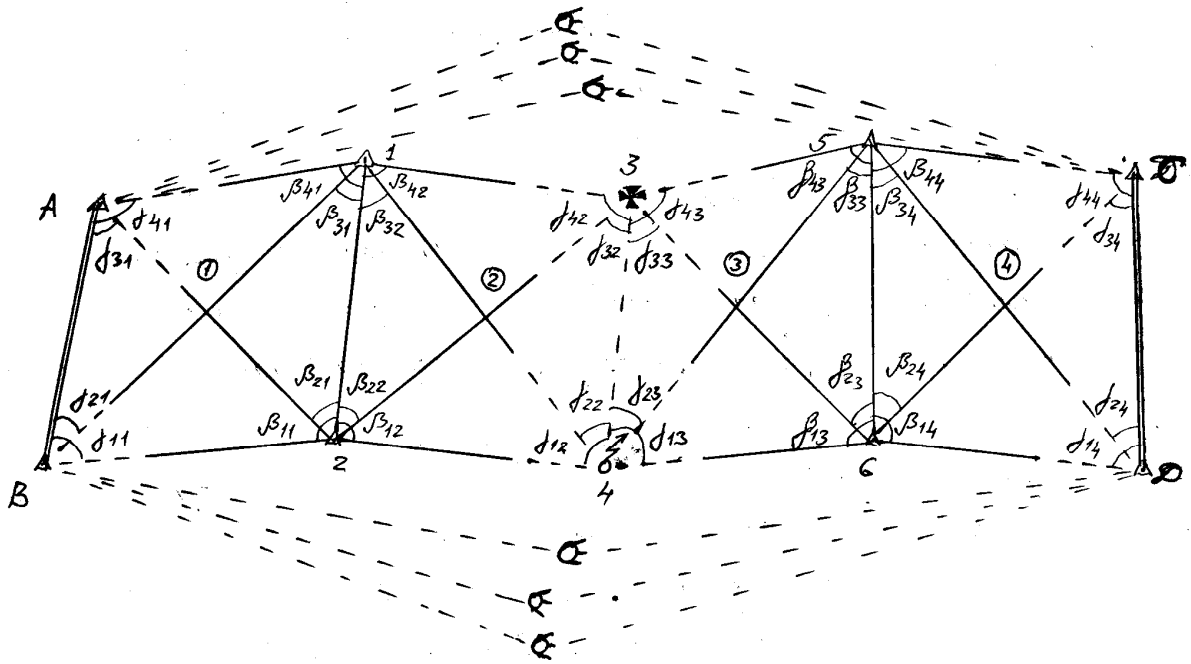
Використовуючи координати пунктів А, В, С, D, визначених за системою GPS і маючи результати кутових спостережень на пунктах 1, 2, 5, 6, визначити робочі координати пунктів 1, 2, 3, 4, 5, 6 і контрольні координати пунктів С і D.

ПОРЯДОК РОБОТИ

1. Розрахунок допоміжних кутів ω_i .
2. Розрахунок невимірних кутів γ_{ij} .
3. Розрахунок координат пунктів.
4. Розрахунок румба контрольного напрямку.

ПРИКЛАД ОБЧИСЛЕНЬ

1. Вихідні дані нульового варіанту.



№ пунктів	Координати GPS		Вимірні кути β_{ij}			
	x	y	β_{ij}	Значення	β_{ij}	Значення
A	5934,	2297,	β_{11}	100°00'08.54"	β_{13}	108°02'15.00"
B	594	186	β_{21}	48°58'15.10"	β_{23}	59°03'02.17"
C	1002,	1524,	β_{31}	41°29'35.71"	β_{33}	38°28'03.05"
D	545	235	β_{41}	81°25'14.21"	β_{43}	77°48'09.25"
			β_{12}	95°32'16,32"	β_{14}	92°27'12,19"
			β_{22}	45°30'07,82"	β_{24}	53°31'07,21"
			β_{32}	41°58'07,14"	β_{34}	49°32'18,09"
			β_{42}	76°32'15,07"	β_{44}	85°27'17,05"

Індивідуальний варіант розраховується за формулою:
 $\beta_{ij} = \beta + a, bc''$, тобто до кожного виміряного кута слід додати останні три цифри залікової книжки студента, відділивши третю цифру комою у секундах.

2. Робочі формули.

Абсиси пунктів розраховуються за формулою:

$$X_i = \frac{X_{лів} \operatorname{tg} \alpha_{лів} - X_{пр} \operatorname{tg} \alpha_{пр} - y_{лів} + y_{пр}}{\operatorname{tg} \alpha_{лів} - \operatorname{tg} \alpha_{пр}}, \quad (6.1)$$

ординати пунктів:

$$y_i = y_{пр} + (x_i - x_{пр}) \operatorname{tg} \alpha_{пр}, \quad (6.2)$$

де x_i, y_i – абсциса і ордината визначеного пункту;
 $x_{л}, y_{л}$ – абсциса і ордината лівого пункту базисної сторони;
 $x_{пр}, y_{пр}$ – абсциса і ордината правого пункту базисної сторони;

$\alpha_{л}, \alpha_{пр}$ - дирекційні кути з лівого і правого базисного пункту на визначає мий.

Вихідними даними є виміряні кути β_i в даному геодезичному чотирикутнику і відомі координати двох пунктів.

Із рішення оберненої геодезичної задачі визначається румб вихідної сторони, наприклад

$$tgr_{BA} = \frac{y_A - y_B}{X_A - X_B}, \quad (6.3)$$

де y_A, x_A – ордината і абсциса віддаленого пункту;

y_B, x_B – ордината і абсциса пункту стояння.

Розрахунок невиміряних кутів γ_{ij} виконують за формулами:

$$\gamma_{1i} = 180^\circ - \beta_{1i} + \omega_i; \quad (6.4)$$

$$\gamma_{2i} = \omega_i + \beta_{3i}; \quad (6.5)$$

$$\gamma_{3i} = \beta_{2i} - \omega_i; \quad (6.7)$$

$$\gamma_{4i} = 180^\circ - \omega_i - \beta_{4i}; \quad (6.8)$$

$$tg \omega_i = \frac{(ctg \beta_{1i} + ctg \beta_{3i}) - (ctg \beta_{2i} + ctg \beta_{4i})}{ctg \beta_{2i} + ctg \beta_{3i} - ctg \beta_{1i} + ctg \beta_{4i}}. \quad (6.8)$$

Дирекційний кут α_{21} сторони S_{12} знаходять за формулою

$$\alpha_{21} = \alpha_{BA} + \omega_i; \quad (6.9)$$

а для визначення координат пункту 2, одержимо

$$\alpha_{2лiв} = \alpha_{21} - \beta_{21}; \quad (6.10)$$

$$\alpha_{2пр} = \alpha_{21} - \beta_{11}; \quad (6.11)$$

При визначенні ж координат пункту 1 дирекційні кути засічки будуть:

$$\alpha_{1лiв} = \alpha_{12} + \beta_{41}; \quad (6.12)$$

$$\alpha_{1пр} = \alpha_{12} + \beta_{31}; \quad (6.13)$$

Для визначення координат пункту 4 маємо:

$$\alpha_{4лiв} = \alpha_{12} - \beta_{32}; \quad (6.14)$$

$$\alpha_{4пр} = \alpha_{21} + \beta_{12}; \quad (6.15)$$

Для визначення координат пункту 3 будемо мати:

$$\alpha_{3лiв} = \alpha_{12} - \beta_{42}; \quad (6.16)$$

$$\alpha_{3пр} = \alpha_{21} + \beta_{22}; \quad (6.17)$$

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BA} + \omega_i + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4; \quad (6.18)$$

Програма № 10

$F_{прз}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХП0	С/П	Ftg	F 1/x	КХП4	FLO	04
10	С/П	ПХ7	ПХ8	Х	ПХ6	ПХ9	Х	-	ХП1	ПХ6
20	ПХ8	+	ПХ7	ПХ9	+	-	ПХ1	:	Ftg ⁻¹	ХПС

30	С/П	ХП0	С/П	ХП1	-	С/П	ХП2	С/П	ХП3	-
40	:	Ftg ⁻¹	ПХС	+	ХП4	ПХ4	ПХ6	-	Ftg	ХП5
50	ПХ4	ПХa	-	Ftg	ХП6	ПП	G8	ХП9	ПХ8	ХП7
60	ПХ α	/ - /	ХП6	ПХС	/ - /	ХП α	ПП	45	ХП3	ХП6
70	X	ПХ2	ПХ5	X	-	ПХ1	-	ПХ0	+	ПХ6
80	ПХ5	-	:	С/П	ХП8	ПХ3	-	ПХ6	F 1/x	:
90	ПХ1	+	С/П	В/О	ХП0	ПХ9	-	С/П	ПХ8	ПХ7
100	-	С/П	:	Ftg ⁻¹	С/П	F	АВТ			

Протокол № 10 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О с/п	4	
2	100°00'08,54"		β_{11}
3	$\vec{K0\Pi}$, ХПа, с/п		
4	48°58'15,10"		β_{21}
5	$\vec{K0\Pi}$, ХВ., с/п		
6	41°29'35,71"		β_{31}
7	$\vec{K0\Pi}$, ХПс, с/п		
8	81°25'14,21"		β_{41}
9	$\vec{K0\Pi}$, ХПd, с/п, с/п		ω_1
10	2297,186 с/п		Y_A лів
11	1524,235 с/п		Y_B пр
12	5934,594 с/п		X_A лів
13	1002,545 с/п		X_B пр
14		1437,462 с/п	X_2 пр
15		6617,235 с/п	Y_2 пр
16		6221,548 с/п	X_1 лів
17		7046,007 с/п	Y_1 лів
18	БП 29 с/п		
19	0, ХПе		
20	95°32'16,32"		β_{12}
21	/-/, $\vec{K0\Pi}$, ХПа		
22	41°58'07,14"		β_{32}
23	$B \uparrow$, 180 + $\vec{K0\Pi}$ ХПв		
24	45°30'07,82"		β_{22}
25	$\vec{K0\Pi}$, ХПс		
26	76°32'15,07"		β_{42}

27	$B \uparrow, 180 + /- /$		
28	$\kappa 0_{III}, X_{II}d$		
29	7046,007 с/п		Y_1 лів
30	6617,235 с/п		Y_2 пр
31	6221,548 с/п		X_1 лів
32	1437,462 с/п		X_2 пр
33		557,932 с/п	X_4 пр
34		11290,212 с/п	Y_4 пр
35		4933,491 с/п	X_3 лів
36		10876,947	Y_3 лів
37	0 XPe		
38	B/O с/п		
39	108°02'15,00"		β_{13}
40	$\kappa 0_{III}, X_{II}a, с/п$		
41	59°03'02,17"		β_{23}
42	$\kappa 0_{III}, X_{V}, с/п$		
43	38°28'03,05"		β_{33}
44	$\kappa 0_{III}, X_{II}c, с/п$		
45	77°48'09,25"		β_{43}
46	$\kappa 0_{III} X_{II}d$ с/п с/п	+8,0821593°	ω_3
47	10,876,947 с/п		Y_3 лів
48	11290,212 с/п		Y_4 пр
49	4933,491 с/п		X_3 лів
50	557,932 с/п		X_4 пр
51		1755,716 с/п	X_6 пр
52		15653,358 с/п	Y_6 пр
53		5765,233 с/п	X_3 лів
54		15841,507	Y_3 лів
55	БП 29 с/п		
56	О XPC		
57	92°27'12,19		β_{14}
58	$/- / \kappa 0_{III} X_{II}a$		
59	49°32'18,09"		β_{34}
60	$B \uparrow 180 + \kappa 0_{III}$		
61	XIV		
62	53°31'07,21"		β_{24}
63	$\kappa 0_{III} X_{II}c$		
64	85°27'17,05"		β_{44}
65	$B \uparrow 180 + /- /$		
66	$\kappa 0_{III} X_{II}d$		

67	15841,507 с/п		Y_5 лів
68	15653,358 с/п		Y_6 пр
69	5765,233 с/п		X_5 лів
70	1755,715 с/п		X_6 пр
71		1311,388 с/п	X_D пр
72		20592,95 с/п	Y_D пр
73		5146,283 с/п	X_C лів
74		20719,147	Y_C лів
75	БП 94 с/п	+126,196 с/п	ΔY_{CD}
76		+3834,894 с/п	ΔX_{CD}
77		1,8847689 ⁰	\sqrt{CD}
78	κ_{0III}	1°53'05,17"	α_{CD}
79	$\kappa_{0III} \vec{F} \cos$		
80	3836,974	$F \frac{1}{x} 3836.974$	S_{CD}

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ

Вільний член умовного рівняння дирекційних кутів знаходять з виразу

$$W_{\alpha} = \alpha_{\text{кінц. вирах.}} - \alpha_{\text{кінц. вихідн.}} \quad (6.19)$$

$$\text{де } \alpha_{\text{кінц. вихідн.}} = 1^{\circ}53'05,17''$$

Вільний член умовного рівняння сторони

$$W_{S_{CD}} = S_{CD, \text{вирахов.}} - 3836,974.$$

Допустиме значення вільного члена умовного рівняння дирекційних кутів

$$W_{\alpha_{\text{дон.}}} \leq 2,5m_{\alpha} \quad (6.20)$$

$$W_{\alpha_{\text{дон.}}} = 4\mu\sqrt{n} \quad (6.21)$$

де n – число чотирикутників у ряді,

μ - с.к.п. одиниці ваги.

$$m_{\alpha} = 1.58m_{\beta}\sqrt{n} \quad (6.22)$$

де m_β - с.к.п. вимірювання кутів. В нашому випадку слід брати

$m_\beta = \frac{a, bc''}{2.5}$, тобто три останні цифри залікової книжки студента, якими спотворили істинну модель, приймаємо як граничну похибку.

Розраховується відносна похибка передачі сторони

$$f_{\text{відн.}} = \frac{W_s}{3836.974} = \frac{1}{3836.974/W_s}.$$

Розраховується вільні члени координатних умовних рівнянь

$$W_{XC} = X_C \text{вир.} - 5146.283$$

$$W_{YC} = Y_C \text{вир.} - 20719,147$$

$$W_{XD} = X_D \text{вир.} - 1311,388$$

$$W_{YD} = Y_D \text{вир.} - 20562,951.$$

С.к.п. визначення координат пунктів

$$W_{X,Y} = \sqrt{\frac{[W^2_{X,Y}]}{4}}.$$

Робота №1

Перехід від геодезичних координат B, L, H до просторових прямокутних x, y, z і навпаки

За способом Ф. Слудського

$$x = (N+H) \cos B \cos L; \quad y = (N+H) \cos B \sin L; \quad z = [N(1-e^2) + H] \sin B;$$

$$\bar{a} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2(1+e^2)} = a + \frac{H}{W} = \frac{H}{\sqrt{1-e^2}};$$

$$N = \frac{a}{W} = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} = \frac{C(1+0.25e'^2 \cos^2 B)}{(1+0.75e'^2 \cos^2 B)};$$

$$a = 637845.0 \text{ м}; \quad e^2 = 6,693422 \cdot 10^{-3}; \quad e' = 6.738525 \cdot 10^{-3}$$

$$\operatorname{tg} L = \frac{y}{x}; \quad D = x \operatorname{sec} L = y \operatorname{csc} L; \quad \operatorname{tg} B^0 = \frac{2(1+e'^2)}{D}; \quad \operatorname{tg} B' = \frac{2 + Ne^2 \sin B^0}{D};$$

$$H = D \operatorname{sec} B - N = 2 \operatorname{csc} B - N(1-e^2);$$

Програма №1

$F_{\text{нрз}}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	K_{0111}^{\rightarrow}	ХП1	С/П	K_{0111}^{\rightarrow}	ХП2	С/П	ХП3	1	ПХ5
10	ПХ1	Fsin	Fx^2	X	-	$F\sqrt{\quad}$	ХП8	С/П	ПХ4	:
20	$F1/x$	ХП7	С/П	ПХ1	Fcos	ПХ2	Fcos	X	ПХ7	ПХ3
30	+	ХП9	X	ПХa	С/П	ПХ9	ПХ1	Fcos	X	ПХ2
40	Fsin	X	ХПe	С/П	1	ПХ5	-	ПХ7	X	ПХ3
50	+	ПХ1	Fsin	X	ХПc	С/П	Fx^2	1	ПХe	+
60	X	ПХe	Fx^2	+	ПХa	Fx^2	+	$F\sqrt{\quad}$	С/П	ПХ3
70	ПХ8	:	ПХ4	+	С/П	ПХe	ПХa	:	$F\operatorname{tg}^{-1}$	K_{0111}^{\rightarrow}
80	С/П	ПХ2	Fcos	$F1/x$	ПХa	X	ХПd	С/П	1	ПХe
90	+	ПХc	X	ПХd	:	$F\operatorname{tg}^{-1}$	ХПе	K_{0111}^{\rightarrow}	С/П	ПХe
100	Fsin	ПХ5	X	ПХ7	X	F	АВТ			

Вихідні дані:

$$B = 49^{\circ}00'49.95'', \quad L = 35^{\circ}00'15.48'', \quad H = 300112 \text{ м.}$$

Протокол №1

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	6378245 ХП4		a	11		2517224,7 С/П	Y
2	6,693422 ВП3/-/ХП5		e^2	12		5018201С/П	Z
3	6,738525 ВП3/-/ХП6		E'^2	13		6678931,8 С/П	\bar{a}
4	В/О С/П			14		6678931,0 С/П	$\bar{a}_{\text{контр}}$

5	49°00'49.95" С/П		<i>B</i>	15		35°00'15.49" С/П	<i>L</i>
6	35°00'15.48" С/П		<i>L</i>	16		4388177 С/П	<i>D</i>
7	300112 С/П		<i>H(м)</i>	17		49°01'20.8" С/ П	<i>B'</i>
8		0,99809112С/П	<i>W</i>	18		32292.892	
9		6390443,9 С/П	<i>N</i>	19-31	В ручному обрахунку		
10		3594395,4 С/П	<i>X</i>				

Програма ручного обрахунку:

ПХс	+	ПХd	:	$F \operatorname{tg}^{-1}$	ПХе	K_{0111}^{\leftarrow}	$B = 49^{\circ}00'50.02''$
ПХd	ПХе	$F \cos$	$F 1/x$	X	ПХ7	-	$H = 300113\text{м}$

Робота №2

Обчислення просторових квазігеоцентричних координат ШСЗ за результатами синхронних фотографічних спостережень (рішення прямої просторової засічки)

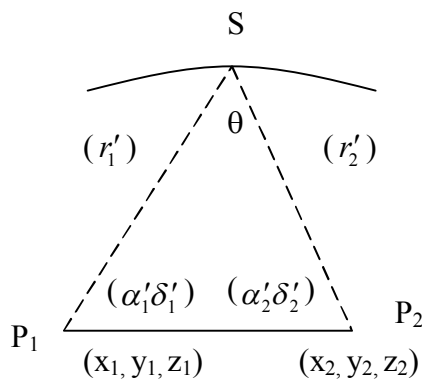
1. Обробку спостережень зручно проводити за допомогою “обернених гринвіцьких часових кутів” ШСЗ, які обчислюються за формулами:

$$\gamma'_{cp} = \alpha' - S = -t'_{cp}; \text{ де } S = S_0 + T + T_\mu$$

2. Обчислюються різниці координат вихідних пунктів:

$$\Delta x = x_2 - x_1; \Delta y = y_2 - y_1; \Delta z = z_2 - z_1;$$

3. Обчислюються направляючі косинуси топоцентричних радіусів-векторів з вихідних пунктів на ШСЗ:



$$m'_i = \cos \delta'_i \cos \gamma'_i;$$

$$n'_i = \cos \delta'_i \sin \gamma'_i;$$

$$r'_i = \sin \delta'_i;$$

$$\cos Q = m'_1 m'_2 + n'_1 n'_2 + r'_1 r'_2$$

$$\text{Контроль: } m_i^2 + n_i^2 + r_i^2 = 1$$

4. Розрахуємо топоцентричні віддалі:

$$r'_1 = \frac{\Sigma_1 - \Sigma_2 \cos Q}{D}; \quad r'_2 = \frac{\Sigma_1 \cos Q - \Sigma_2}{D}; \quad D = \sin^2 Q$$

$$\Sigma_1 = m'_1 \Delta x + n'_1 \Delta y + r'_1 \Delta z; \quad \Sigma_2 = m'_2 \Delta x + n'_2 \Delta y + r'_2 \Delta z$$

5. Обчислюємо два рази координати ШСЗ (з обох пунктів):

$$x'_s = x_1 + m'_1 r'_1; \quad y'_s = y_1 + n'_1 r'_1; \quad z'_s = z_1 + r'_1 r'_1;$$

$$x''_s = x_2 + m'_2 r'_2; \quad y''_s = y_2 + n'_2 r'_2; \quad z''_s = z_2 + r'_2 r'_2;$$

і нев'язки координат: $V_x = x''_s - x'_s; \quad V_y = y''_s - y'_s; \quad V_z = z''_s - z'_s;$

Вихідні данні:

$$\gamma'_1 = 354^\circ 02' 33,82''; \quad \delta'_1 = 20^\circ 49' 41,57''$$

$$\gamma'_2 = 335^\circ 36' 12,07''; \quad \delta'_2 = 0^\circ 43' 21,07''$$

$$x_1 = 3698631, \quad y_1 = -2308821, \quad z_1 = 4639732$$

$$x_2 = 3183780, \quad y_2 = -1421510, \quad z_2 = 5322971$$

Програма №1

F_{npz}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХП0	С/П	K_{0111}^{\rightarrow}	КХП4	FL0	04	Fsin
10	ХП2	С/П	ХП9	Fcos	ПХ7	Fcos	X	ХП3	С/П	ПХ9
20	Fcos	ПХ7	Fsin	X	ХП4	С/П	Fx^2	ПХ3	Fx^2	+
30	ПХ2	Fx^2	+	С/П	ПХ8	Fsin	ХП0	С/П	ПХ8	Fcos
40	ПХ6	Fcos	X	ХП1	С/П	ПХ8	Fcos	ПХ6	Fsin	X
50	ХП5	С/П	Fx^2	ПХ1	Fx^2	+	ПХ0	Fx^2	+	С/П
60	ПХ1	ПХ3	X	ПХ5	ПХ4	X	+	ПХ0	ПХ2	X

70	+	ХПа	Fcos ⁻¹	Fsin	Fx ²	ХПd	С/П	ХПe	С/П	ХПc
80	С/П	ХПе	ПХ0	Х	ПХc	ПХ5	Х	+	ПХe	ПХ1
90	Х	+	ХП6	ПХ3	ПХe	Х	ПХ4	ПХc	Х	+
100	ПХ2	ХПе	Х	+	С/П	F	АВТ			
					ПХа	Х	ПХ6	-	ПХd	
	:	/-/	ХП8	r ₁ '	ПХа	Х	ПХ7	-	ПХd	
	:	r ₂ '	ПХ8	ПХ1	Х	x ₁	+	x _s '	ПХ8	
ПХ5	Х	y ₁	+	y _s '	ПХ8	ПХ0	Х	z ₁ '	+	
z _s '	ПХ9	ПХ3	Х	x ₂	+	x _s '	ПХ9	ПХ4	Х	
y _s	+	y _s '	ПХ9	ПХ2	Х	z ₂	+	z _s ''		

Протокол №1 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П		
2	354°02'33.82" С/П		γ ₁ '
3	335°36'12.07" С/П		γ ₂ '
4	20°49'41,57" С/П		δ ₁ '
5	0°43'21,07" С/П		δ ₂ '
6		0,012610007	γ ₁ '
7		0,9106352	m ₁ '
8		-0,41301879	n ₁ '
9		1	Контр.
10		0,35556719	γ ₂ '
11		0,92960317	m ₂ '
12		0,097004828	n ₂ '
13		1	Контр.
14		0,20509802	r ₁ '
15	-514851С/П		Δx
16	887311С/П		Δy
17	683239С/П		Δz
18		-826701,91	Σ ₂
19-21	ХП7, ПХа, *		
22-24			
25-27	ПХd, :, ХП8,	2014332.4	r ₁ '
28-30			
31-33			
34-35	:, ХП9	2621628.9	r ₂ '
36-38	ПХ9, ПХ1, :		
39	3698631 +		x ₁
40-42		5571160.8	x _s
43	-2308851 +		y ₁
44-46		-2504221	y _s
47	4639732 +		z ₁
48-50		5355962.5	z _s
51	3183780 +		x ₂

52-54		5571127.6	X _s
55	-1421510 +		Y ₂
56-58		-2504292	Y _s
59	5322971 +		Z ₂
60		5356029.8	Z _s

Зведена таблиця результатів

	Середні значення коєфіцієнтів	V _i	V _i ²
X _s cp	5571144.2	-33.2	1102.24
Y _s cp	-2504256.5	-71.0	5041.00
Z _s cp	5355996.15	+67.3	4529.29

Оцінка точності:

$$\text{С. К. П. одиниці ваги: } \mu = \sqrt{\frac{[PV^2]}{n-3}} = \sqrt{\frac{10672.53}{4-3}} = 103.308$$

$$\text{Ваги віддалей: } P_{r_1} = P_{r_2} = [bb * 1] = \sin^2 Q = 0.206$$

$$\text{Похибки віддалей: } m_{r_1} = m_{r_2} = \frac{\mu}{\sqrt{P_r}} = \frac{103.308}{\sqrt{0.454}} = 227.55$$

$$\text{Похибка в положенні ШСЗ: } \mu_s = \frac{m_r \sqrt{2}}{\sin Q} = \frac{227.55 * 1.41}{0.454} = 706.708 \text{ м}$$

Робота №3

Зрівноваження супутникової триангуляції

Вихідні данні:

	P ₁	P ₂		S
x _i	3698631	3183780	x _s ^o	5571144
y _i	-2308821	-1421510	y _s ^o	-2504256
z _i	4639732	5322971	z _s ^o	5355996
γ _i '	23 ^h 36 ^m 30,32 ^s	22 ^h 22 ^m 24,87 ^s		
γ _i '	354°02'33,82"	335°36'12,07"		
(r')	2014 км	2622 км		

Робочі формули

1. Розрахунок коефіцієнтів рівнянь поправок

$$a_{1,3} = \frac{\partial \gamma}{\partial x} = -\frac{\sin^2 \gamma}{\Delta y} \rho''; \quad b_{1,3} = \frac{\partial \gamma}{\partial y} = -\frac{\cos^2 \gamma}{\Delta x} \rho''; \quad c_{1,3} = \frac{\partial \gamma}{\partial z} = -\frac{\sin^2 \gamma}{r} \rho'';$$

$$a_{2,4} = \frac{\partial \delta}{\partial x} = -\frac{\sin \delta \cos \gamma}{r'} \rho''; \quad b_{2,4} = \frac{\partial \delta}{\partial y} = -\frac{\sin \delta \sin \gamma}{r'} \rho''; \quad c_{2,4} = \frac{\partial \delta}{\partial z} = -\frac{\cos \delta \cos \gamma}{r'} \rho'';$$

рівняння поправок параметричного способу зрівноваження

$$\frac{\partial \gamma}{\partial x_k} dx_k + \frac{\partial \gamma}{\partial y_k} dy_k + \frac{\partial \gamma}{\partial z_k} dz_k + l_{ik}^\gamma = V_{ik}^\gamma;$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial x_k} dx_k + \frac{\partial \delta}{\partial y_k} dy_k + \frac{\partial \delta}{\partial z_k} dz_k + l_{ik}^\delta = V_{ik}^\delta;$$

2. Розрахунок вільних членів

$$l^\gamma = \gamma^\circ - \gamma; \quad l^\delta = \delta^\circ - \delta;$$

$$\text{де } \operatorname{tg} \gamma^\circ = \frac{y_s^\circ - y}{x_s^\circ - x}; \quad \operatorname{tg} \delta^\circ = \frac{z_s^\circ}{\sqrt{(x_s^\circ - x)^2 + (y_s^\circ - y)^2}}$$

Програма №1. Визначення вільних членів коефіцієнтів рівнянь поправок

F _{прз}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	3	ХП 0	С/П	КХП4	FL O	04	ПХ6	С/П
10	-	ХП9	ПХ7	С/П	-	ХПа	:	F1/x	Ftg ⁻¹	С/П
20	K ₀₁₁ [→]	С/П	K ₀₁₁ [→]	ХП 0	ПХ8	С/П	-	ХПe	ПХ9	Fx ²
30	ПХа	Fx ²	+	F√	:	Ftg ⁻¹	С/П	K ₀₁₁ [→]	ХП3	-
40	K ₀₁₁ [→]	С/П	ПХ0	Fsin	Fx ²	ПХe	X	ПХа	:	/ - /
50	ХП1	С/П	ПХ0	Fcos s	Fx ²	ПХe	X	ПХ9	:	ХП2
60	С/П	ПХ3	Fsin	ПХ 0	Fcos	X	ПХ e	X	ХП4	С/П
70	ХП5	:	/ - /	С/П	ПХ3	Fsin	ПХ 0	Fsin	X	ПХe
80	X	ПХ5	:	С/П	ПХ3	Fcos	ПХ e	X	ПХ5	:

90	С/П	БП	08	F	АВТ					
----	-----	----	----	---	-----	--	--	--	--	--

Протокол №1 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	206264,81 ПХе		ρ''	22		-0,0038 С/П	b_{δ_1}
2	В/О С/П			23		0,0957 С/П	c_{δ_1}
3	5571144 С/П		x°	24	3183780 С/П		x_2
4	-2504256 С/П		y°	25	-1421510 С/П		y_2
5	5355996 С/П		z°	26		-24,395814°	Румб γ'_2
6	3698631С/П		x_1	27	360° + С/П		
7	-2308821 С/П		y_1	28		335°36'15,1''	γ_2°
8		-5,958413°	Румб γ'_1	29		335°36'12,07''	γ_2
9	360°, + С/П			30	В ручному розрахунку	+3,03''	l_{γ_2}
10	354°02'33,82''	354°02'29,7''	γ_1°	31	С/П		
11			γ_1	32	5322971С/П		z_2
12	В ручному розрахунку	-4.12''	l_{γ_1}	33		0,72178152	δ_2°
13	4639732 С/П			34	0°43'21,07'' С/П		δ_2
14	С/П		z_1	35		-2,66''С/П	l_{δ_2}
15		20,829234°	δ_1°	36		+0,0325С/П	a_{γ_2}
16	20°49'41.57''С/П		δ_1	37		0,0717С/П	b_{γ_2}
17		3,68'' С/П	l_{δ_1}	38	2621629 С/П		r_2
18		0.0114С/П	a_{γ_1}	39		-0,0009 С/П	a_{δ_2}
19		0.1090С/П	b_{γ_1}	40		-0,0004 С/П	b_{δ_2}
20	2014332 С/П		r'_1	41		+0,0787	c_{δ_2}
21		-0,0362 С/П	a_{δ_1}				

Отримані дані вписуємо у зведену таблицю коефіцієнтів рівнянь поправок

№ п/п	γ_i δ_i	$a(\delta x)$	$b(\delta y)$	$c(\delta z)$	l''	S	V	V ²
1	γ_1	+0,0114	+0,1090	0	-4,12	-3,9996	-2,66	7,076
2	γ_2	+0,0325	+0,0717	0	+3,03	+3,1342	+4,19	17,556
3	δ_1	-0,0362	-0,0038	+0,0957	+3,68	+3,7357	+3,0	9,0
4	δ_2	-0,0009	-0,0004	+0,0787	-2,66	-2,5826	-2,95	8,702
Σ		+0,0068	+0,1765	+0,1744	-0,07	+0,2877		42,334
δ		+8,138653	12,511033	-3,553856				

Програма №2. Розрахунок коефіцієнтів нормальних рівнянь

F_{npz}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	C _x	ХП2	ХП4	ХП5	ХП7	ХП8	ХП9	ХП _в	ХПС	ХПd
10	ХПе	С/П	ХП0	С/П	ХП1	F _x ²	ПХ2	+	ХП2	С/П
20	ХП3	F _x ²	ПХ4	+	ХП4	ПХ1	ПХ3	Х	ПХ5	+
30	ХП5	С/П	ХП6	F _x ²	ПХ7	+	ХП7	ПХ1	ПХ6	Х
40	ПХ8	+	ХП8	ПХ3	ПХ6	Х	ПХ9	+	ХП9	С/П
50	ХПа	F _x ²	ПХ _в	+	ХП _в	ПХа	ПХ1	Х	ПХ _с	+
60	ХП _с	ПХ3	ПХа	Х	ПХd	+	ХПd	ПХ6	ПХа	Х
70	ПХ _е	+	ХПе	FLO	13	ПХ2	С/П	ПХ5	С/П	ПХ4
80	С/П	ПХ8	С/П	ПХ9	С/П	ПХ7	С/П	ПХ _с	С/П	ПХd
90	С/П	ПХ _е	С/П	ПХ _в	С/П	БП	00	F	АВТ	

Протокол №2 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П; 4 С/П			14	-0,0009 С/П		a_4
2	0.0114		a_1	15	-0,0004 С/П		b_4
3	0.1090		b_1	16	+0,0787 С/П		c_4
4	0 С/П	768.2597 С/П	c_1	17	-2,66 С/П		l_4
5	-4,07 С/П	С/П	l_1	18		+0,00249746	[aa]
6	0,0325 С/П	С/П	a_2	19		+0,00371077	[ab]
7	0,0717 С/П	С/П	b_2	20		+0,01703649	[bb]
8	0 С/П	С/П	c_2	21		-0,00353517	[ac]
9	+3,03 С/П	С/П	l_2	22		-0,00039514	[bc]
10	-0,0362 С/П	С/П	a_3	23		+0,03070436	[cc]
11	-0,0038 С/П	С/П	b_3	24		-0,079315	[al]
12	0,0957 С/П	С/П	c_3	25		-0,244749	[bl]
13	+3,68 С/П		l_3	26		+0,142834	[cl]
				27		+46,7733	[ll]

Представлення матриці коефіцієнтів нормальних рівнянь

$$R = \begin{pmatrix} [aa] & [ab] & [ac] \\ [ba] & [bb] & [bc] \\ [ca] & [cb] & [cc] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +0,00249746 & +0,00371077 & -0,00353517 \\ +0,00371077 & +0,01703649 & -0,00039514 \\ -0,00353517 & -0,00039514 & +0,03070436 \end{pmatrix};$$

Програма №3 знаходження оберненої матриці розміром 3×3 і рішення нормальних рівнянь

F_{npz}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП7	С/П	ХП8	С/П	ХП9	С/П	ХП4	С/П	ХП5
10	С/П	ХП6	С/П	ХП1	С/П	ХП2	С/П	ХП3	03	ХП0
20	ПХ4	ПХ7	:	ХПd	ПХd	/ - /	ХПе	ПХ5	ПХd	ПХ8
30	Х	-	ХПа	ПХ6	ПХd	ПХ9	Х	-	ХПb	ПХ1
40	ПХ7	:	ХПd	ПХd	/ - /	ХП6	ПХ2	ПХd	ПХ8	ПХ7
50	-	ХП4	ПХ3	ПХd	ПХ9	Х	-	ХП5	ПХ8	ПХ7
60	:	ХП1	ПХ9	ПХ7	:	ХП2	ПХ7	F1/x	ХП3	ПХа
70	ХП7	ПХb	ХП8	ПХ _с	ХП9	FLO	20	ПХ7	С/П	ПХ8
80	С/П	ПХ9	С/П	ПХ4	С/П	ПХ5	С/П	ПХ6	С/П	ПХ1

90	С/П	ПХ2	С/П	ПХ3	С/П	ХПа	ПХ7	Х	С/П	ХПб
100	ПХ8	Х	+	С/П	ХПе	F	АВТ			
						ПХ9	Х	+	δХ	ПХ4

Протокол №3 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
	В/О С/П			16		-17.822443 С/П	Q ₂₃
2	2,49746 /-/С/П ВП3		[aa]	17		86,32644 С/П	Q ₃₁
3	3.71077 ВП3/-/С/П		[ав]	18		17,8224 С/П	Q ₃₂
4	-3.53517/-/С/ПВП3		[ас]	19		42,27857	Q ₃₃
5	3.71077/-/С/П ВП3		[ва]	20	С/П		-[al]
6	1.703649/-/С/П ВП2		[вв]	21	С/П		-[vl]
7	-3.9514/-/С/П ВП4		[вс]	22	С/П		-[cl]
8	-3.53517/-/С/П ВП3		[са]	23-25	ПХ9, Х,+	+8,138653	δx
9	-3.9514/-/С/П ВП4		[вв]	26-28	ПХ4,ПХа,Х		
10	3.070436/-/С/П ВП2		[сс]	29-31	ПХ5,ПХб,Х		
11		768.2597 С/П	Q ₁₁	32-34	+,ПХ6,ПХс		
12		-165,3347 С/П	Q ₁₂	35-36	Х,+	12,511033	δy
13		86,32644 С/П	Q ₁₃	37-39	ПХ1,ПХа,Х		
14		-165,3347 С/П	Q ₂₁	40-42	ПХ2,ПХб,Х		
15		94,29624 С/П	Q ₂₂	43-45	+,ПХ3,ПХс		
				46-47	Х,+	-3,553856	δz

Представлення оберненої матриці

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 768.2597 & -165.3347 & 86.32644 \\ -165.3347 & 94.29624 & -17.82243 \\ 86.32644 & -17.82243 & 42.27857 \end{pmatrix}$$

Для системи нормальних рівнянь:

$$R\delta + L = 0;$$

$$R\delta = -L,$$

де вектор вільних членів $L = \begin{pmatrix} [al] \\ [bl] \\ [cl] \end{pmatrix}$, а $\delta = -LR^{-1} = -LQ$

Програма №4. Контроль рішення нормальних рівнянь. Визначення поправок в кути.

F _{прз}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	Сх	ХПе	С/П	ХП0	ХПd	0	С/П	КХП0	ПХ0	1
10	-	Fх = 0	06	ПХd	ХП0	КХП0	С/П	Х	ПХе	+
20	ХПе	ПХ0	1	-	Fх = 0	15	ПХе	С/П	Сх	ХПе
30	БП	13	F	АВТ						

Протокол №4 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
-------	----------------	-----------	------------	-------	----------------	-----------	------------

			ня				
1	В/О С/П			18	0,0114С/П		аγ1
2	4 С/П		$n+1$	19	0,1090С/П		бγ1
3	8,138653С/П		δx	20	0 С/П		сγ1
4	12,511033С/П		δy	21		-2,66 С/П	υγ1
5	-3,553856С/П		δz	22	0,0325С/П		аγ2
6	2,49746 ВП3 /-/С/П		$[aa]$	23	0,0717С/П		бγ2
7	3,71077 ВП3 /-/С/П		$[ав]$	24	0 С/П		сγ2
8	-3,53517 ВП3 /-/С/П		$[ac]$	25		4,19 С/П	υγ2
9		0,0793150 С/П	$-[al]$	26	-0,0362 С/П		аδ1
10	3,71077 ВП3 /-/С/П		$[ва]$	27	-0,0038 С/П		бδ1
11	1,703649 ВП2 /-/С/П		$[вв]$	28	0,0957 С/П		сδ1
12	3,9514 ВП4 /-/С/П		$[вс]$	29		3,0 С/П	υδ1
13		0,244749 С/П	$-[vl]$	30	-0,0009 С/П		аδ2
14	3,53517 ВП3 /-/С/П		$[са]$	31	-0,0004 С/П		бδ2
15	1,703649 ВП4 /-/С/П		$[вв]$	32	0,0787 С/П		сδ2
16	3,070436 ВП2 /-/С/П		$[сс]$	33		-2,95	υδ2
17		-0,14283401 С/П	$-[cl]$				

Обчислення зрівноважених координат

	X		Y		Z
X _s °	5571144	Y _s °	-2504256	Z _s °	5355996
δx	8,138653	δy	12,51103	δz	-3,5538
X _s	5571152,138	Y _s	-2504243,489	Z _s	5355992,447

Програма №5. Контроль зрівноваження

F_{npz}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	6	ХП0	С/П	КХП4	FLO	04	ПХa	ПХ7
10	-	ХПd	ПХ9	ПХ6	-	ХПС	:	Ftg ⁻¹	K ₀₁₁ [←]	С/П
20	ПХb	ПХ8	-	ХПе	ПХc	Fx ²	ПХd	Fx ²	+	F√

30	:	Ftg ⁻¹	K ₀₁₁₁ [←]	С/П	ХП6	С/П	ХП7	С/П	ХП8	БП
40	08	F	АВТ							

Протокол №5 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П					20°49'41,57"	δ1
2	3698631 С/П		X1			+3,0	υδ1
3	-2308821 С/П		X2	11	3183780 С/П		X2
4	4639732 С/П		X3	12	-1421510 С/П	С/П	Y2
5	5571152,138 С/П		X5	13	5322971 С/П		Z2
6	-2504243,48 С/П		Y5	14		24°23'43,76"	γ'2 зр
7	5355992,447 С/П		Z5			335°36'16,24"	γ2 зр
8		-5°57'28,82"	γ'1 зр			335°36'16,26"	K γ'2
	K ₀₁₁₁ [→] 360° +	354°02'31,18"	γ1 зр			335°36'12,07"	γ'2
		354°02'31,16"	K. γ зр			+4,19	δγ2
		354°02'33,82"	γ1	15	С/П		
		-2,66	υγ1			0°43'18,13"	δ2 зр
9	С/П					0°43'18,12"	контр
10		20°49'44,65"	δ1 зр			0°43'21,07"	δ2
		20°49'44,57"	контр			-2,95	υδ2

Оцінка точності

Середня квадратична похибка одиниці ваги:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-k}} = \sqrt{\frac{42.334}{1}} = 6.51''$$

Похибка координат

$$m_x = \mu \sqrt{Q_{11}} = 180 м$$

$$m_y = \mu \sqrt{Q_{22}} = 63 м$$

$$m_z = \mu \sqrt{Q_{33}} = 42 м$$

$$M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} = 195 м$$

Робота №4

Попередня обробка фотографічних спостережень ШСЗ.

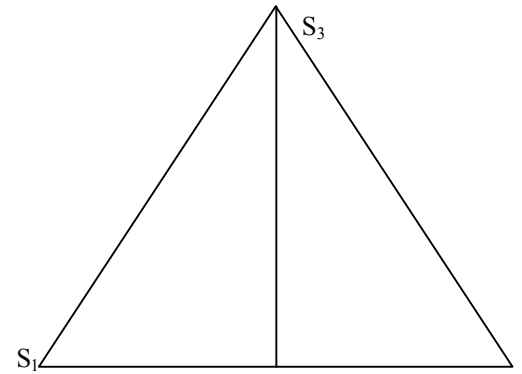
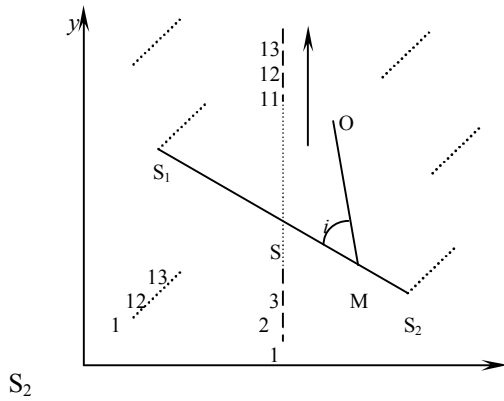


Рис.1. Супутникограма пасивного ШСЗ. інтерполяції.

Рис.2. Схема подвійної

Стрілкою показано напрямок польоту. На сліді Супутника і однієї зірки пронумеровані експозиції.

Робочі формули.

1. Інтерполяційні коефіцієнти і кути β, γ

$$a_1 = \overline{S_1S} : \overline{S_1S_2} = (x-x_1) : (x_2-x_1)$$

$$a_2 = 1 - a_1; \quad a'_1 = a_1 + a_1 a_2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \gamma$$

$$\overline{S_1S_2} = 27.2 \text{ мм}; \quad \beta^\circ = \frac{\rho^\circ}{F} \overline{OM}; \quad \gamma^\circ = \frac{\rho^\circ}{F} \overline{S_1S_2}$$

$$F = 252 \text{ мм}; \quad \overline{OM} = 6.5 \text{ мм}.$$

2. Обчислення координат ШСЗ

$$\alpha_s = \alpha_1 + a'_1 \Delta \alpha - \frac{k_\alpha a'_1 a'_2 \operatorname{tg} \delta_m}{360}; \quad \delta_m = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}; \quad \Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1$$

$$\delta_s = \alpha_1 + a_1 \Delta \delta - \frac{k_\delta a'_1 a'_2}{60}; \quad \Delta \delta = \delta_2 - \delta_1$$

Програма розрахунку екваторіальних координат ШСЗ по способу А.Н.Дейча

F _{прг}	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	С/П	ХП1	-	С/П	ПХ1	-	:	ХП2	С/П
10	1	-	/-/	ХП3	С/П	ПХe	2	5	2	:
20	ХП4	6	*	5	x	Ftg	ХП5	ПХ4	2	7
30	*	2	x	Ftg	ХП6	x	2	5	Fcos	x
40	ПХ3	x	ПХ2	x	ПХ2	+	ХП7	С/П	1	-
50	/-/	ХП8	С/П	ПХ7	x	ХП0	С/П		ХП9	С/П
60	K_{011}^{\rightarrow}	ХПа	+	2	:	Ftg	ПХ0	X	С/П	x
70	/-/	ХПв	С/П	K_{011}^{\rightarrow}	ХПd	С/П	K_{011}^{\rightarrow}	ХПc	-	ПХ8
80	x	ПХc	+	ПХв	С/П	K_{011}^{\rightarrow}	С/П	ПХ0	x	6
90	0	:	ПХ9	-	/-/	ХПв	ПХа	ПХ9	-	ПХ7
100	x	ПХв	+	K_{011}^{\rightarrow}	С/П	F	АВТ			

Встановлення вихідних даних. Вихідні дані нульового варіанту.

Точки	X	Y	α	δ
S	159,18мм	134,60мм		
S ₁	148,56	138,75	22 ^h 31 ^m 28,2 ^s	-1° 49' 56,6"
S ₂	174,15	129,16	22 10 07,6	-4° 58' 02,20"

О	156,7	138,6		

Індивідуальне завдання студента розраховується за формулами:

Протокол розрахунку по програмі

№п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	57№29578 ХПе		ρ^0	11		0,24288017	$a_1' - a_2'$
2	В/О С/П			12	$-1^{\circ}49'56.7''$ С/П		δ_1
3	159,18 С/П		x	13	$-4^{\circ}58'02.27''$ С/П		δ_2
4	148,56 С/П		x_1	14	70^s С/П	1.010167	$K_{\alpha} - II_{\alpha}$
5		+10,62	x- x_1	15	$22^h 31^m 28.27^s$ С/П		α_2
6	174,15 С/П		x_2	16	$22^h 10^m 07.67^s$ С/П		α_1
7		0,41500586С/П	a_1	17	$3600 : +$ С/П	$22^h 22^m 37.03^s$	α_s
8		0,5849941С/П	a_2	18	0.9 С/П		K_{δ}
9		0,41562097С/П	a_1'	19		$-3^{\circ}08'21.563''$	δ_s
10		0,584379С/П	a_2'	20	ПХВ, K_{0111}^{\rightarrow}	$-1^{\circ}50'09.785''$	$\delta_1 - II_{\delta}$

Таблиця коефіцієнтів K_{α}

$\Delta\alpha$	500 ^S	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000 ^S
0,0°	0 ^S	0 ^S	0 ^S	0 ^S	0 ^S	0 ^S	0 ^S	0 ^S	0 ^S	0 ^S
0,5	4	9	13	17	22	26	31	35	39	44
1,0	9	17	26	35	44	52	61	70	79	88
1,5	13	26	39	52	65	79	92	105	118	130
2,0	17	35	52	70	87	105	122	140	157	175
2,5	22	44	65	87	109	131	153	175	196	218
3,0	26	52	79	105	131	157	183	210	236	262
3,5	31	61	92	122	153	183	210	244	275	306
4,0	35	70	105	140	175	210	244	279	314	350
4,5	39	79	118	157	196	236	275	314	354	382
5,0°	44	87	131	175	218	262	306	349	393	437

Величина K_{α} інтерполюється слідуючим чином:

	1000 ^S	Δ	1500 ^S
3,0	52	27	79
Δ	9		13
3,5	61	31	92

Таблиця коефіцієнтів K_{δ}

$\Delta\alpha$	500 ^S	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000 ^S
0 ⁰	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'	0'
5 ⁰	0	1	2	3	5	7	10	13	16	20
10 ⁰	0	2	4	6	10	14	19	25	32	39
15 ⁰	1	2	5	9	14	20	28	36	46	57
20 ⁰	1	3	7	12	18	26	36	47	59	73
25 ⁰	1	4	8	14	22	31	43	56	71	87

30 ⁰	1	4	9	16	25	36	48	63	80	98
35 ⁰	1	4	10	17	27	38	52	68	86	107
40 ⁰	1	4	10	18	28	40	55	72	91	112
45 ⁰	1	5	10	18	28	41	56	73	92	114

K_δ - інтерполюється так: $\delta_m = 3.5^\circ$

$$K_\delta = \frac{1.28 * 35}{5} = 0.9'$$

Результати точних обчислень:

$$\alpha_s = 22^h 22^m 44.8^s; \delta_s = -3^\circ 10' 07''$$

Робота №5

Обчислення довжини і напрямку космічного базису (просторової хорди)

Робочі формули

1. Обчислення направляючих косинусів

$$m_1^1 = \cos\delta_1 \cos\gamma_1; \quad m_2^1 = \cos\delta_2 \cos\gamma_2;$$

$$n_1^1 = \cos\delta_1 \sin\gamma_1; \quad n_2^1 = \cos\delta_2 \sin\gamma_2;$$

$$\gamma_1^1 = \sin\delta_1; \quad \gamma_2^1 = \sin\delta_2;$$

$$\text{Контроль: } m_i^2 + n_i^2 + r_i^2 = 1$$

2. Обчислення приростів координат

$$\Delta x = m_1^1 r_1^1 - m_2^1 r_2^1; \quad \Delta y = n_1^1 r_1^1 - n_2^1 r_2^1;$$

$$\Delta z = \gamma_1^1 r_1^1 - \gamma_2^1 r_2^1;$$

3. Обчислення довжин і напрямку базиса (хорди)

$$\alpha = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

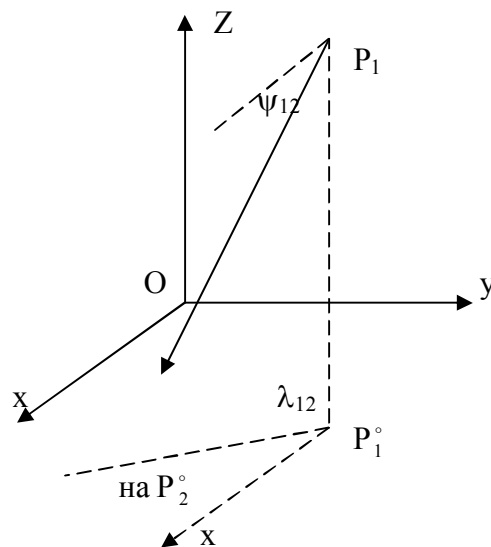
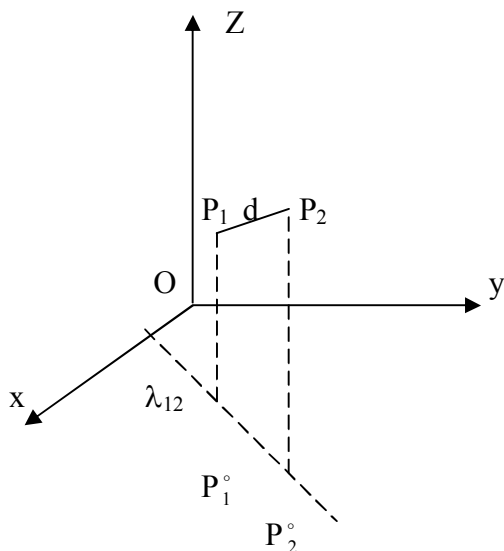
Направляючі косинуси хорди

$$M_{12} = \frac{\Delta x}{\alpha}; \quad N_{12} = \frac{\Delta y}{\alpha}; \quad R_{12} = \frac{\Delta z}{\alpha};$$

$$\text{Контроль: } M_{12}^2 + N_{12}^2 + R_{12}^2 = 1;$$

Сферичні кути хорди:

$$\text{tg}\lambda_{12} = \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad \text{tg}\psi_{12} = \frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}};$$



Програма розрахунку довжин і напрямку космічного базиса

$F_{\text{прз}}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХП0	С/П	K_{0111}^{\rightarrow}	Fcos	КХП4	FL0	04
10	ПХ7	Х	ХП0	С/П	ПХ6	ПХ8	Х	ХП1	С/П	ПХ8
20	ПХ6	$F\cos^{-1}$	Fsin	Х	ХП2	С/П	ПХ7	$F\cos^{-1}$	Fsin	ПХ9
30	Х	ХП3	С/П	ПХ8	$F\cos^{-1}$	Fsin	ХП4	С/П	ПХ9	$F\cos^{-1}$
40	Fsin	ХП5	С/П	Fx^2	ПХ0	Fx^2	+	ПХ3	Fx^2	+
50	С/П	ПХ1	Fx^2	ПХ2	Fx^2	+	ПХ4	Fx^2	+	С/П
60	ПХ1	С/П	ХПd	Х	ПХ0	С/П	ПХe	Х	-	ХПа
70	С/П	ПХ2	ПХd	Х	ПХ3	ПХe	Х	-	ХПe	С/П
80	ПХ4	ПХd	Х	ПХ5	ПХe	Х	-	ХПc	С/П	Fx^2

90	ПХв	Fx^2	+	ПХа	Fx^2	+	$F\sqrt{\quad}$	ХП0	С/П	ПХа
100	ПХ0	:	ХП1	С/П	F	АВТ				
					ПХв	ПХ0	:	ХП2	N_{12}	ПХс
	ПХ0	:	ХП3	R_{12}	Fx^2	ПХ1	Fx^2	+	ПХ2	Fx^2
	+	Контр	ПХв	ПХа	:	Ftg^{-1}	360^0	+	λ_{12}	ПХс
	ПХа	Fx^2	ПХв	Fx^2	+	$F\sqrt{\quad}$:	Ftg^{-1}	K_{0111}^{\rightarrow}	ψ_{12}

Вихідні данні:

$$\gamma'_1 = 11^\circ 46' 17,02'' ;$$

$$\delta'_1 = 39^\circ 40' 28,27'' ;$$

$$r'_1 = 603922 ;$$

$$\gamma'_2 = 67^\circ 07' 26,62'' ;$$

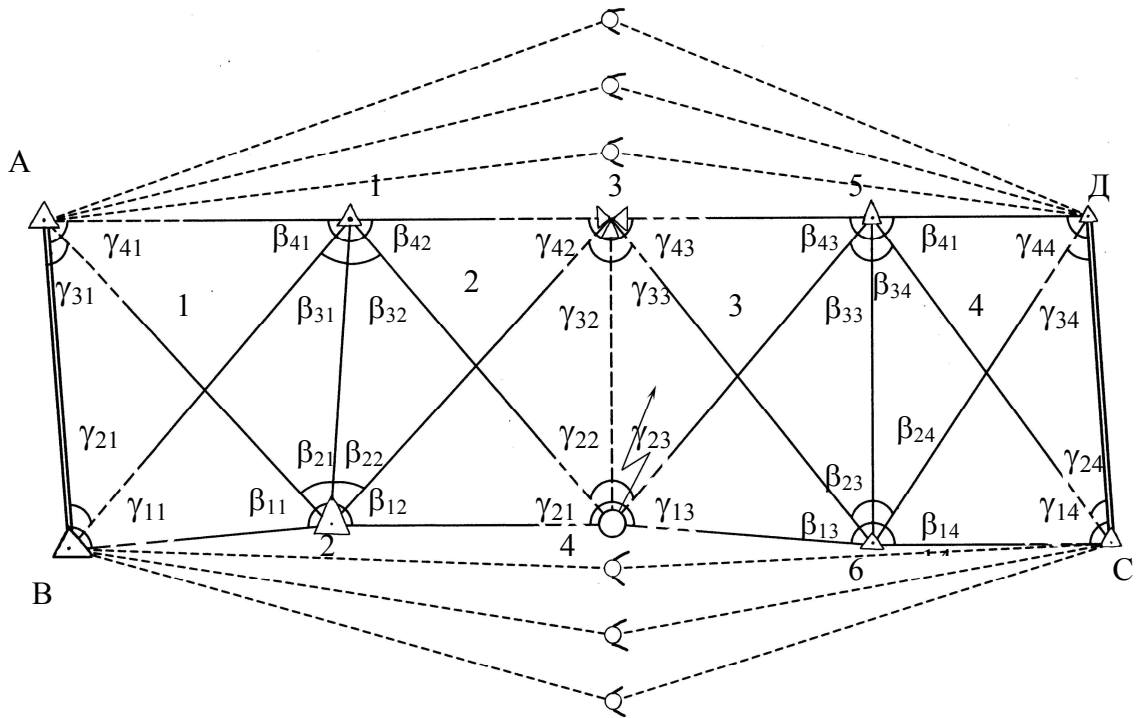
$$\delta'_2 = 77^\circ 04' 13,17'' ;$$

$$r'_2 = 1409908 .$$

Протокол розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П		
2	11°46'17,02" С/П		γ'_1
3	67°07'26,62" С/П		γ'_2
4	39°40'28,27" С/П		δ'_1
5	77°04'13,17" С/П		δ'_2
6		0,086981838С/П	m'_2
7		0,75349671С/П	m'_1
8		0,1570211С/П	n'_1
9		0,20615632С/П	n'_2
10		0,63842553С/П	γ'_1
11		0,97464543С/П	γ'_2
12		0,99999999С/П	Контроль
13		1,0000001С/П	Контроль
14	603922С/П		r'_1
15	1409908С/П		r'_2
16		332416,85С/П	Δx
17		-195832,94С/П	Δy
18		-988601,2С/П	Δz
19		1061218,1С/П	d
20		0,31324084	M_{12}
21-23	ПХ θ , ПХ0, :	-0,18453599	N_{12}
24	ХП2		
25-28	ПХс, ПХ0, :, ХП3	-0,93157212	R_{12}
29-32	Fx ² , ПХ1, Fx ² , +	ПХ1	
33-35	ПХ2, Fx ² , +	0,99999999	$\Sigma_{\text{контр}}$
36-38	ПХ θ , ПХ α , :		
39	Ftg ⁻¹	-30,50313°	
40-42	360 ⁰ , +, K ₀₁₁₁ [→]	329°29'48.7"	λ_{12}
43-45	ПХс, ПХ α , Fx ²		
46-49	ПХ θ , Fx ² , +, F $\sqrt{\quad}$		
50-52	:, Ftg ⁻¹ , K ₀₁₁₁ [→]	-68°40'52.4"	Ψ_{12}

Робота №6
Згущення пунктів GPS наземним методом парних ланок засічок



Вирахувати попередні координати пунктів 1,2,3,4,5,6 по відомим координатам пунктів А,В,С,Д визначеним по системі GPS.

Вихідні дані:

№ п/п	Координати GPS		Виміряні кути β_{ij}			
	X	Y	β_{ij}	Значення	β_{ij}	Значення
A	5934,594	2297,186	β_{11}	100°00'08,61"	β_{13}	108°02'15,07"
B	1002,545	1524,235	β_{21}	48°58'15,17"	β_{23}	59°03'02,24"
C	5146,283	20719,147	β_{31}	41°29'35,78"	β_{33}	38°28'03,12"
D	1311,388	20592,951	β_{41}	81°25'14,28"	β_{43}	77°48'09,32"
			β_{12}	95°32'16,39"	β_{14}	92°27'12,26"
			β_{22}	45°30'07,89"	β_{24}	53°31'07,28"
			β_{32}	41°58'07,21"	β_{34}	49°32'18,16"
			β_{42}	76°32'15,14"	β_{44}	85°27'17,12"

Робочі формули:

абсциси пунктів розраховуються за формулою

$$X_i = \frac{X_{лів} \cdot tg\alpha_{лів} - X_{пр} \cdot tg\alpha_{пр} - Y_{лів} + Y_{пр}}{tg\alpha_{лів} - tg\alpha_{пр}}$$

ординати пунктів

$$Y_i = Y_{пр} + (X_i - X_{пр}) \cdot tg\alpha_{пр}$$

де X_i , Y_i – абсциса і ордината визначаемого пункту;

$X_{л}$, $Y_{л}$ – абсциса і ордината лівого пункту базисної сторони;

$X_{пр}$, $Y_{пр}$ – абсциса і ордината правого пункту базисної сторони;

$\alpha_{лів}$, $\alpha_{пр}$ – дирекційні кути з лівого і правого базисного пункту на визначаємий.

Із рішення оберненої геодезичної задачі визначається румб вихідної сторони.

Розрахунок невимірних кутів γ_{ij} виконують за формулами:

$$\gamma_{1i} = 180^\circ - \beta_{1i} + \omega_i; \quad \gamma_{2i} = \omega_i + \beta_{3i}; \quad \gamma_{3i} = \beta_{2i} - \omega_i; \quad \gamma_{4i} = 180^\circ - \omega_i - \beta_{4i};$$

$$tg\omega_i = \frac{(ctg\beta_{1i} + ctg\beta_{3i}) - (ctg\beta_{2i} + ctg\beta_{4i})}{ctg\beta_{2i}ctg\beta_{3i} - ctg\beta_{1i}ctg\beta_{4i}};$$

Для визначення координат пункту 2, одержимо

$$\alpha_{2лів} = \alpha_{21} - \beta_{21}; \quad \alpha_{2пр} = \alpha_{21} - \beta_{11};$$

При визначенні ж координат пункту 1 дирекційні кути засічки будуть

$$\alpha_{1лів} = \alpha_{12} + \beta_{41}; \quad \alpha_{1пр} = \alpha_{12} + \beta_{31};$$

Для визначення координат пункту 4 маємо

$$\alpha_{4лів} = \alpha_{12} - \beta_{32}; \quad \alpha_{4пр} = \alpha_{21} + \beta_{12};$$

Для визначення координат пункту 3 одержимо

$$\alpha_{3лів} = \alpha_{12} - \beta_{42}; \quad \alpha_{3пр} = \alpha_{21} + \beta_{22};$$

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BA} + \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4$$

Програма №1. Розрахунок координат методом парних ланок засічок.

$F_{прз}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	3	ХП0	С/П	Ftg	$F 1/x$	КПХ4	FLO	04
10	С/П	ПХ7	ПХ8	Х	ПХ6	ПХ9	Х	-	ХП1	ПХ6
20	ПХ8	+	ПХ7	ПХ9	+	-	ПХ1	:	Ftg^{-1}	ХПе
30	С/П	ХП0	С/П	ХП1	-	С/П	ХП2	С/П	ХП3	-
40	:	Ftg^{-1}	ХПе	+	ХП4	ПХ4	ПХb	-	Ftg	ХП5
50	ПХ4	ПХа	-	Ftg	ХП6	ПП	68	ХП9	ПХ8	ХП7
60	ПХd	/ - /	ХПb	ПХc	/ - /	ХПа	ПП	45	ПХ3	ПХ6
70	Х	ПХ2	ПХ5	Х	-	ПХ1	-	ПХ0	+	ХПе
80	ПХ5	-	:	С/П	ХП8	ПХ3	-	ПХ6	$F 1/x$:
90	ПХ1	+	С/П	В/О	ХП0	ПХ9	-	С/П	ПХ8	ПХ7
100	-	С/П	:	Ftg^{-1}	С/П	F	АВТ			

Протокол №1 розрахунку за програмою

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П	4		41	59°03'02,24"		β_{23}
2	100°00'08,61"		β_{11}	42	K_{0111}^{\rightarrow} ХПb С/П		
3	K_{0111}^{\rightarrow} ХПа С/П			43	38°28'03,12"		β_{33}
4	48°58'15,17"		β_{21}	44	K_{0111}^{\rightarrow} ХПc С/П		
5	K_{0111}^{\rightarrow} ХПb С/П			45	77°48'09,32"		β_{43}
6	41°29'35,78"		β_{31}	46	K_{0111}^{\rightarrow} ХПd С/П	С/П+8,082150 7°	ω_3

7	K_{011}^{\rightarrow} XПе С/П			47	10876,947 С/П		X ₆ ПР
8	81°25'14,28"		β_{41}	48	11290,221 С/П		Y ₆ ПР
9	K_{011}^{\rightarrow} XПд С/П	-3,785538°	ω	49	4933,4923 С/П		X ₃ ЛІВ
10	2297,186 С/П		Y _a ЛІВ	50	557,93213 С/П		Y ₃ ЛІВ
11	1524,235 С/П		Y ₂ ПР	51		1755,723 С/П	X ₆ ПР
12	5934,594 С/П		X _a ЛІВ	52		15653,371 С/П	Y ₆ ПР
13	1002,545 С/П		X ₂ ПР	53		5765,240 С/П	X ₃ ЛІВ
14		1437,462 С/П	X ₂ ПР	54		15841,511 С/П	Y ₃ ЛІВ
15		6617,237 С/П	Y ₂ ПР	55	БП 29 С/П		
16		6221,546 С/П	X ₁ ЛІВ	56	0 XПе		
17		7046,008 С/П	Y ₁ ЛІВ	57	92°27'12,26"		β_{14}
18	БП 29 С/П			58	/-/ K_{011}^{\rightarrow} XПа		
19	0 XПе			59	49°32'18,16"		β_{34}
20	95°32'16,39"		β_{12}	60	B 180+ K_{011}^{\rightarrow} XПб		
21	/-/ K_{011}^{\rightarrow} XПа			61			
22	41°58'07,21"		β_{32}	62	53°31'07,28"		β_{24}
23	B 180+ K_{011}^{\rightarrow} XПб			63	K_{011}^{\rightarrow} XПе		
24	45°30'07,89"		β_{22}	64	85°27'17,12"		β_{44}
25	K_{011}^{\rightarrow} XПе			65	B 180+/-/		
26	76°32'15,14"		β_{42}	66	K_{011}^{\rightarrow} XПд		
27	B 180+/-/			67	15841,508 С/П		Y ₅ ЛІВ
28	K_{011}^{\rightarrow} XПд			68	15653,368 С/П		Y ₆ ПР
29	7046,0067 С/П		Y ₁ ЛІВ	69	5765,2441 С/П		X ₅ ЛІВ
30	6617,2355 С/П		Y ₂ ПР	70	1755,726 С/П		X ₆ ПР
31	6221,5482 С/П		X ₁ ЛІВ	71		1311,404 С/П	X _Д ПР
32	1437,4634 С/П		X ₂ ПР	72		20592,97 С/П	Y _Д ПР
33		557,929 С/П	X ₄ ПР	73		5146,301 С/П	X _С ЛІВ
34		11290,223 С/П	Y ₄ ПР	74		20719,155 С/П	Y _С ЛІВ
35		4933,489 С/П	X ₃ ЛІВ	75	БП 94 С/П	+126,185 С/П	Δ Y _{СД}
36		10876,949 С/П	Y ₃ ЛІВ	76		+3834,896 С/П	Δ X _{СД}
37	0 XПе			77		1,8846039°	$r_{сd}$
38	B/O С/П			78	K_{011}^{\leftarrow}	1°53'04,57"	$\alpha_{сd}$
39	108°02'15,07"		β_{13}	79	K_{011}^{\rightarrow} Fcos		

40	K_{0111}^{\rightarrow} ХПа С/П			80	3834,894 : F1/x	3836,971	$S_{сд}$
----	-------------------------------------	--	--	----	--------------------	----------	----------

Оцінка точності

Вільний член умовного рівняння дирекційних кутів знаходять із виразу

$$W_{\alpha} = \alpha_{\text{кінцвирах}} - \alpha_{\text{кінцвихідц}}, \text{ де } \alpha_{\text{кінц.вихід}} = 1^{\circ}53'04,57'' - 1^{\circ}53'05,17'' = -0.60''$$

Вільний член умовного рівняння сторони

$$W_{CD} = S_{CD\text{вирах}} - 3836974 = 3836971 - 3836974 = -0.003_M$$

Допустиме значення вільного члена умовного рівняння дирекційних кутів

$$W_{\alpha \text{ доп}} \leq 2,5 m_{\alpha},$$

$$\text{або } W_{\alpha \text{ доп}} = 4\mu\sqrt{n},$$

де n – число чотирикутників в ряді;

μ - середня квадратична похибка вимірювання кутів. В моєму випадку $m_{\beta} = \frac{2,02}{2,5} = 0,808$

Розраховується відносна похибка передачі сторони

$$f_{\text{відн}} = \frac{W_S}{3836,971} = \frac{1}{3836,971} = \frac{1}{1278990}$$

Розраховуються вільні члени координатних умовних рівнянь

$$W_{XC} = X_{C\text{вирах}} - 5146,283 = +0.018$$

$$W_{YC} = Y_{C\text{вирах}} - 20719,147 = +0,008$$

$$W_{XD} = X_{D\text{вирах}} - 1311,388 = +0,016; \quad W_{YD} = Y_{D\text{вирах}} - 20562,951 = +0,019$$

Середня квадратична похибка визначення координат пунктів:

$$W_{X,Y} = \sqrt{\frac{[W_{X,Y}]^2}{4}} = 0.015_M$$

ЛІТНАРОВИЧ РУСЛАН МИКОЛАЙОВИЧ
кандидат технічних наук, доцент

ОСНОВИ КОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ

Лабораторний практикум для студентів очної та заочної форми навчання по спеціальності 7.07 09 04 – „Землевпорядкування та кадастр”

НАЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Комп’ютерний набір, редагування тексту та макетування:
Лукасов А.І., Дедков А.В., Славко М.М.

Чернігівський державний інститут економіки та управління

м. Чернігів

вул. Стрілецька,1

[URL:www.geci.cn.ua](http://www.geci.cn.ua)

E-mail:rector@geci.cn.ua

Тел.: (0462) 179-308

(04622) 5-61-70