

Волинський національний університет імені Лесі Українки
Географічний факультет
Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

Анна Уль, Олег Іванчук, Лариса Вакулюк



«Фотограмметрія та дистанційне зондування»

Методичні вказівки до лабораторних занять

Луцьк – 2025

УДК 528.7 (528.8)
У-51

Рекомендовано до друку методичною радою Волинського національного університету імені
Лесі Українки

(Протокол № ____ від ____ 2025 р.)

Рецензент:

Поручинська І.В., кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри економічної та соціальної географії
Волинського національного університету імені Лесі Українки

Уль А. В., Іванчук О.М., Вакулюк Л.А.

У-51 Фотограмметрія та дистанційне зондування методичні вказівки до лабораторних занять / Анна
Володимирівна Уль, Олег Михайлович Іванчук, Лариса Адамівна Вакулюк. Луцьк, 2025. 57 с.

Дана методична розробка сприяє формуванню практичних навичок роботи з геодезичним та фотограмметричним обладнанням, а також оволодінню методами математичної обробки отриманих даних. Розглядається розрахунок елементів планової аерофотозйомки, оцінка якості аерофотознімальних матеріалів, монтаж фотосхем, визначення зміщень точок внаслідок нахилу знімка і внаслідок рельєфу, розв'язування задач з теорії перспективи, відображення рельєфу на аерознімках.

Рекомендовано здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Геодезія та землеустрій» спеціальності G 18 «Геодезія та землеустрій»

УДК 528.7 (528.8)
У-51

© Уль А. В., Іванчук О.М., Вакулюк Л.А. . 2025

©Волинський національний університет імені Лесі Українки

Зміст

Вступ

Лабораторна робота №1. Розрахунок елементів планової аерофотозйомки.....	5
Лабораторна робота №2 Накидний монтаж. Оцінка якості аерофотознімальних матеріалів...	9
Лабораторна робота №3 Монтаж фотосхем.....	16
Лабораторна робота №4 Зміщення точок аерофотознімка внаслідок нахилу і рельєфу.....	22
Лабораторна робота №5. Спрощений геометричний аналіз аерознімка.....	29
Лабораторна робота №6 Робота на фотограмметричній станції “дельта”	36
Лабораторна робота №7 Вимірювання повздовжніх паралаксів на аерознімках. обчислення перевищень і відміток точок.....	39
Лабораторна робота №8 Відображення рельєфу на аерознімках за допомогою стереоскопу...	40
Лабораторна робота №9 Аналітичне трансформування аерофотознімків.....	44

ВСТУП

Фотограмметрія – це дисципліна, яка займається розв’язуванням задач визначення форм, розмірів та взаємного розміщення предметів у просторі, тобто їх кількісних якісних характеристик, за фотознімками.

Предмет цієї дисципліни – вивчення властивостей фотозображення, методів його отримання і вимірювання, розробка приладів для вимірювання і перетворення фотознімків.

Сучасні технології створення топографічних планів і карт базують на використанні матеріалів аерофотознімання. Аерофотознімки використовують і для вирішення багатьох спеціальних задач: проектування доріг, ЛЕП, при геологічних вишукуваннях, екології, землевпорядкуванні, кадастрі тощо.

Від якості отриманих аерознімальних матеріалів залежить якість і вартість наступних і кінцевих результатів. Тому кожен спеціаліст, який працює з аерофотознімками, повинен вміти оцінити якість матеріалів аерофотознімання і встановити їх придатність для подальшої роботи.

В даній методичній розробці розглядаються наступні задачі: розрахунок елементів планової аерофотозйомки, оцінка якості аерофотознімальних матеріалів, монтаж фотосхем, визначення зміщень точок внаслідок нахилу знімка і внаслідок рельєфу, розв’язування задач з теорії перспективи, відображення рельєфу на аерознімках за допомогою стереоскопу, визначення координат точок місцевості за стереопарою аерознімків та вимірювання повздовжніх паралаксів для обчислення перевищень і відміток точок за допомогою стереокомпаратора і за допомогою растрових образів відтворення цифрової моделі місцевості на цифровій фотограмметричній станції “Дельта”.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ПЛАНОВОЇ АЕРОФОТОЗЙОМКИ

Для складання проекту завдання на аерофотозйомку певної території необхідно знати масштаб проекрованої аерозйомки m , масштаб виготовлення плану M . До завдання на аерофотозйомку входять такі дані: фокусна відстань АФА, швидкість літака, час одного польоту. За цими даними розраховуються значення поздовжнього і поперечного перекриттів знімків, кількість годин знімального часу, кількість маршрутів і аеронегативів, значення інтервалу фотографування.

Таким чином, вихідними даними є:

1. Довжина ділянки зйомки (км) A .
2. Ширина ділянки зйомки (км) C .
3. Масштаб фотографування $1:m$.
4. Фокусна відстань АФА f .
5. Швидкість літака (км/год) v .
6. Перевищення над середнім значенням рівня поверхні (м) h .
7. Допустима похибка зображення $\sigma=0.1$ мм.
8. Формат знімка $l_x \times l_y=18 \times 18$ см.

1. Розрахунок висоти фотографування

Висота фотографування h і фокусна відстань АФА є основними величинами, які визначають масштаб планової аерофотозйомки.

Коли величина $1:m$ і f задані, то висоту фотографування обчислюють за формулою:

$$H = f \cdot m .$$

Визначити h .

2. Розрахунок значень поздовжнього і поперечного перекриттів

Величини поздовжнього і поперечного перекриттів виражаються в процентах по відношенню до довжини сторони аеронегатива і відповідно позначаються p і q .

Величини поздовжнього і поперечного перекриттів для виконання аерофотозйомки в масштабах від 1:10 000 до 1:25 000 розраховують за формулами:

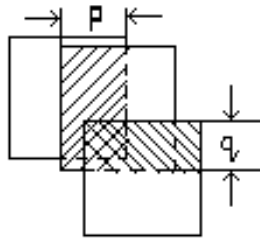


Рисунок1

$$p = 62 + 50 \frac{h}{H},$$

$$q = 34 + 50 \frac{h}{H}.$$

При масштабах аерофотозйомки від 1:5 000 до 1:10 000 p збільшують на 2%, а q – на 4%, а при масштабах від 1: 25 000 до 1:35 000 на стільки ж зменшують.

Визначити: p , q .

2. Розрахунок базису фотографування і відстані між маршрутами

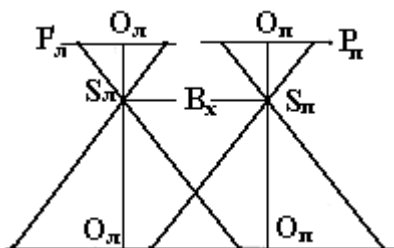


Рисунок 2

Базис фотографування B_x – це відстань за маршрутом між положенням центрів об'єктів при фотографуванні двох суміжних аерофотознімків (рис.2). Базис фотографування залежить від розмірів

сторони знімка l_x , величини

поздовжнього перекриття p (%) і масштабу аерофотозйомки $1::m$.

Спочатку обчислюють базис на знімку: $b_x = \frac{l_x}{100}(100\% - p\%)$, потім на

місцевості: $B_x = b_x \cdot m$,

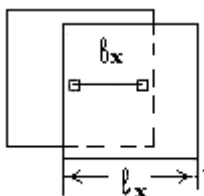


Рисунок 3

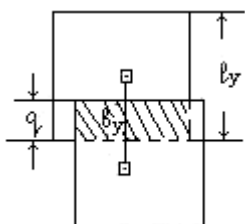


Рисунок 4

де b_x – базис на аерознімку або відстань між центрами аерознімків (рис.3); l_x – сторона аерознімка за напрямом маршруту.

р За аналогією відстань між суміжними маршрутами на місцевості B_y визначається за формулою:

$$B_y = b_y \cdot m,$$

де b_y – відстань між сусідніми маршру-

тами в масштабі зйомки (рис.4)

визначається за формулою $b_y = \frac{l_y}{100}(100\% - q\%)$, l_y – сторона аерознімка поперек маршруту.

Визначити: b_x, B_x, b_y, B_y .

3. Розрахунок кількості маршрутів аерознімків

Кількість маршрутів, необхідних для виконання аерозйомки всієї площі, визначається за формулою:

$$K = \frac{C}{B_y} + 1,$$

де C – ширина ділянки, що знімається;

B_y – відстань між маршрутами на місцевості. Один маршрут додається для забезпечення південної і північної меж ділянки.

Якщо довжина аерознімальної ділянки A (км), то кількість аерознімків n в одному маршруті:

Таблиця 2

Варіанти вихідних даних для виконання завдання №5

№ варіанту	x_0 , мм	y_0 , мм	f , мм
1	0	+2	30
2	-3	-4	35
3	5	-2	40
4	-4	0	45
5	3	2	50
6	1	3	55
7	4	-2	60
8	-1	-3	62
9	2	5	58
10	-3	4	52
11	-1	3	47
12	-5	4	42
13	3	2	38
14	-5	-5	32
15	-2	3	28
16	0	-4	32
17	1	-3	45
18	2	-2	50
19	3	0	55
20	4	-1	60
21	-4	1	58
22	-3	5	47
23	-2	-3	42
24	0	-5	28
25	1	-4	32
26	0	0	38
27	1	2	42
28	2	4	47
29	3	5	52
30	4	1	58

$$n = \frac{A}{B_x} + 3,$$

де B_x – довжина базису при аерофотозйомці. Три аерознімки додані для забезпечення східної і західної меж аерознімальної ділянки.

Розрахункова кількість аерознімків на площі ділянки:

$$N = n \cdot K .$$

Інтервал фотографування t і гранично допустима витримка τ залежать від масштабу зйомки і польотної швидкості літака:

$$t = \frac{b_x}{v} \cdot m ,$$

де b_x – базис фотографування в масштабі знімка.

$$\tau = \frac{\sigma}{v} \cdot m ,$$

де σ – допустима похибка зображення.

Визначити: t, τ .

Варіанти даних для виконання завдання приведені в таблиці 1 додатку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

НАКИДНИЙ МОНТАЖ

ОЦІНКА ЯКОСТІ АЕРОФОТОЗНІМАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Оцінка якості аерофотознімальних матеріалів дозволяє визначити, чи відповідають вони фотограмметричним вимогам і чи забезпечують отримані дані створення топографічної карти.

При оцінці якості аерофотознімального матеріалу визначають процент поздовжнього і поперечного перекриттів аерознімків, непрямолінійність маршрутів, орієнтування сторін аерознімків.

1. Виготовлення накидного монтажу

Накидний монтаж виготовляється на дерев'яному щиті, знімки на ньому закріплюються кнопками. Спочатку аерофотознімки сортують за маршрутами.

Монтаж починають з північного маршруту і кожний маршрут монтують із східного краю для того, щоб було видно номери знімків.

Крайній правий знімок верхнього маршруту закріплюють кнопками, зберігаючи орієнтування за сторонами світу.

Далі до нього за способом мигання підмонто-

вують наступний в маршруті знімок, суміщаючи контури на поздовжньому перекритті. В першу чергу добиваються суміщення контурів поблизу початкових напрямків. Таким же чином монтують всі знімки в маршруті

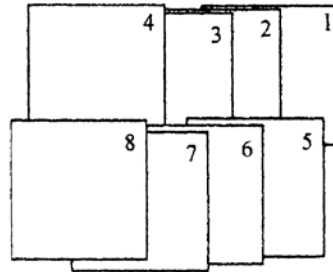


Рисунок 5

Знімки суміжних маршрутів монтують як за поздовжнім, так і за поперечним перекриттям, розподіляючи порівну величини несуміщення контурів.

Порядок укладання аерофотознімків під час складання накидного монтажу показаний на рис.5, де знімки пронумеровані відповідно до послідовності монтажу.

2. Визначити поздовжнє перекриття аерознімків.

Для визначення проценту поздовжнього перекриття кожні два наступних знімки маршруту суміщають за контурами і вимірюють довжину частини знімка, яка перекривається (l'); поділивши значення відрізка, що перекривається на всю довжину знімка (l_x), отримують процент поздовжнього перекриття. Результати вимірювань записують в таблицю.

$$p = \frac{l'}{l_x} \cdot 100\%$$

Номер знімка	l' , мм	l_x , мм	p , %

Поздовжнє перекриття повинно бути не менше ніж 50%.

3. Визначити поперечне перекриття аерознімків.

Варіанти вихідних даних для виконання завдань №1 і №4

№№	A, км	C, км	1 : <i>m</i>	<i>f</i> , мм	V, км/год	<i>h</i> , м	<i>r</i> , мм	α , град.	φ	<i>H</i> , км
1	80	50	1:2 000	70	300	20	50	1,0	90°	350
2	60	30	1:1 000	100	350	15	50	1,5	90°	300
3	70	40	1:2 000	70	300	20	60	1,0	90°	280
4	90	50	1:5 000	100	300	25	60	1,0	90°	250
5	50	30	1:2 000	70	300	15	70	2,0	90°	300
6	70	40	1:2 000	70	350	20	70	1,5	90°	350
7	80	50	1:2 000	70	400	25	80	2,0	90°	400
8	100	80	1:5 000	100	400	30	70	1,5	90°	450
9	120	70	1:10 000	100	400	30	60	1,0	90°	400
10	150	100	1:10 000	200	400	35	60	1,0	90°	400
11	180	90	1:12 000	200	500	35	50	1,0	90°	350
12	200	100	1:25 000	200	500	40	40	1,5	90°	300
13	220	110	1:25 000	200	500	50	50	2,0	90°	450
14	150	100	1:10 000	140	350	40	40	2,0	90°	500
15	100	70	1:10 000	100	400	40	60	2,0	90°	550
16	140	80	1:1 000	140	350	35	70	3,0	90°	600
17	120	90	1:1 000	100	350	35	50	3,0	90°	650
18	110	60	1:5 000	100	300	30	60	2,5	90°	700
19	100	50	1:5 000	100	400	30	60	2,0	90°	500
20	80	40	1:2 000	70	400	25	65	2,5	90°	400
21	70	40	1:2 000	70	400	20	70	2,0	90°	150
22	60	35	1:2 000	100	450	15	80	1,5	90°	350
23	80	50	1:1 000	100	450	15	75	1,0	90°	400

24	100	40	1:5 000	140	300	20	65	1,0	90°	450
25	120	80	1:5 000	140	350	30	50	1,0	90°	500

Після закінчення збору всіх об'єктів приступають до друку карт та їх фрагментів.

Порядок дій при друці фрагментів карти:

1. В “Менеджері шари” вибрати Service Layer і в статусі шару натиснути “Правка”. Закрити.
2. Помітити все.
3. В меню “Карта” вибрати “помічені в рамку”.
4. Помітити рамку.
5. В меню “Вставка” вибрати “розбивка на листи”. Задати розміри листа карти.
6. Помітити лист, який треба друкувати.
7. В меню “Сервіс” вибрати “обрізати по полігону”.
8. Скопіювати лист і вставити в новий файл.
9. Помітити все і в меню “Карта” вибрати “установити рамку”.
10. В меню “Вставка” вибрати “рамка і легенда” і вставити файл R-2000.
11. Появиться шаблон рамки і легенди карти масштабу 2000, який можна редагувати. Помітити підпис. Підвести мишку в центр підпису, з’явиться біля мишки білий квадратик. Натиснути на праву кнопку мишки. Вибрати або вилучити підпис, або редагувати.
12. Друк фрагмента карти.

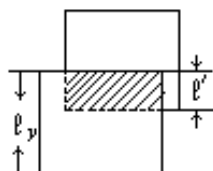


Рисунок 6

Для визначення проценту поперечного перекриття беруть послідовно один знімок з першого маршруту і один з другого, суміщають за контурами і вимірюють довжину перекриваючої частини знімка (рис.6).

$$q = \frac{l'}{l_y} \cdot 100\%$$

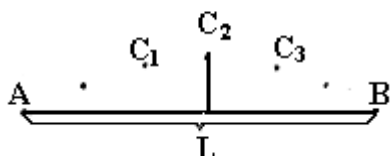
Результати вимірювань записують у таблицю.

Номер знімка	l' , мм	l_y , мм	q , %

Поперечне перекриття не повинно бути менше ніж 20%.

4. Оцінка прямолінійності маршруту.

Непрямолінійністю аерофотознімального маршруту називається відхи-



лення головних точок знімків C_1, C_2, C_3 від прямої AB , яка сполучає головні точки першого і останнього знімків маршруту. Для визначення непрямолінійності сполучають головні точки

Рисунок7

першого і останнього знімків

маршруту прямою (L) і знаходять найбільше відхилення головної точки проміжного знімка від цієї прямої (стрілка прогину l) (рис.7). Відхилення від прямолінійності визначають за формулою:

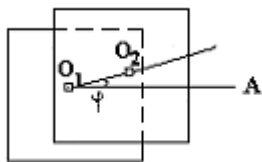
$$n = \frac{100 - l}{L} \%,$$

n не повинне перевищувати 3%.

9

5. Оцінка орієнтування сторін аерознімків

Для оцінки орієнтування сторін аерознімків вимірюють кут між напрямками лінії базису фотографування O_1O_2 і лінією O_1A , паралельною стороні знімка і направленою вздовж маршруту зйомки (рис.8). Цей кут називається “ялинкою”.



Значення його не повинне бути більше 5° . Для вимірювання нульовий діаметр транспортера суміщають з лінією O_1A так, щоби центр транспортера співпав з головною точкою O_1

Рисунок 8

лівого знімка. За променем, що співпав з головною точкою правого знімка визначають величину кута–ялинки. Результати вимірювання записують у таблицю.

Номер знімка	φ°

6. Оцінка кутів нахилу аерофотознімків.

Величини кутів нахилу визначаються за показами круглого рівня, який вмонтовано у камері аерофотоапарата і зображення якого є на кожному аерофотознімку. Ціна поділки круглого рівня становить 1° . За відхиленням центра бульбашки рівня відносно центра концентричних кіл визначають кут нахилу α для аерофотознімків.

На рис.9 показано положення бульбашки рівня, яка відповідає куту нахилу $\alpha=3^\circ$. Для планового аерофотознімання $\alpha \leq 3^\circ$.



Рисунок.9

Якщо треба зібрати об'єкти іншого виду, переключіться на інший шаблон об'єкта.

Якщо треба збирати об'єкти в іншому шарі, виберіть наступний шар із списку “Активний шар”.

Збір окремого об'єкта

Після включення режиму збору об'єктів, і вибору шаблону можна приступати до збору об'єктів, тобто до реєстрації поворотних точок. Порядок реєстрації точок приведений нижче:

1. Зареєструйте першу точку об'єкта. Для цього підведіть мишку до будь-якої поворотної точки об'єкта і натисніть на ліву кнопку мишки.

Примітка: Якщо вибраний шаблон – точковий об'єкт, то реєстрація одної точки завершує збір об'єкта, і далі не потрібно виконувати команду завершення збору.

2. Далі підведіть мишку до наступної поворотної точки і зареєструйте її так само (натисненням лівої кнопки мишки), і так для всіх поворотних точок об'єкта. Якщо ви навелись на чергову точку невдало, то можна виконати команду вилучення останньої точки (в меню – вилучити точку, або натиснувши F8).

Примітка 1: Якщо вибраний шаблон – об'єкт-лінія, то реєстрація двох точок завершує збір об'єкта, і далі не потрібно виконувати команду завершення збору.

Примітка 2: Якщо вибраний шаблон – прямокутник, то реєстрація трьох точок завершує збір об'єкта, і далі не потрібно виконувати команду завершення збору.

3. Коли всі точки об'єкта побудовані, і якщо вибраний шаблон – замкнутий або ортогональний об'єкт, тоді після збору всіх потрібних точок необхідно завершити збір об'єкта за допомогою спеціальної команди завершення збору або натисненням клавіші F5.



Включає збір замкнутих об'єктів. Після закінчення збору такого об'єкта не треба наводитися на першу із зареєстрованих точок, щоби замкнути об'єкт, тому що він замикається автоматично.



Включає збір прямокутників. При зборі такого об'єкта достатньо зареєструвати дві точки на одній стороні прямокутного об'єкта, а потім пересувати мишку в напрямку наступних точок. В результаті уявиться

прямокутник з однією фіксованою стороною, а друга сторона буде рухатися разом з мишкою. Коли ця “рухома” сторона прямокутника буде знаходитися в потрібному положенні, зареєструйте її натиснувши на мишку – це приведе до закінчення збору об’єкта.



Включає збір ортогональних об’єктів, тобто об’єктів з довільною кількістю точок, але всі кути повинні бути прямими. Після побудови перших двох точок такого об’єкта програма дозволяє реєструвати наступні точки тільки на лініях, перпендикулярних до попередньої побудованої лінії. Таким чином всі суміжні сторони у таких об’єктів будуть перпендикулярні.



Включає збір точкових об’єктів. Для збору такого об’єкта достатньо зареєструвати одну його точку. Точкові об’єкти – це пікети, стовпи, окремі дерева.



Включає збір об’єктів-ліній. Для збору такого об’єкта достатньо зареєструвати дві точки лінії на двох її кінцях.



Включає збір кіл. При зборі таких об’єктів треба зареєструвати три точки, що лежать на колі.



Включає збір контурів, які складаються з паралельних ліній. Об’єктами такого роду є дороги, річки. Спочатку треба зареєструвати дві відповідні точки на протилежних сторонах об’єкта. Далі достатньо реєструвати тільки одну сторону – протилежна буде реєструватися автоматично.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

МОНТАЖ ФОТОСХЕМ

Фотосхемою називають групу аерознімків, змонтованих в одне спільне зображення по контурах або іншим способом без геодезичної прив’язки. Фотосхеми використовують для виконання робіт, які не вимагають точних вимірювань: польового дешифрування географічних і геологічних досліджень, попередніх інженерно-проектних робіт. Монтують фотосхеми із

нетрансформованих аерознімків планової аерофотозйомки. В залежності від кількості маршрутів фотосхеми можуть одномаршрутними і багатомаршрутними.

Монтаж фотосхем складається з таких процесів: підготовка знімків і основи, монтування, різання і наклеювання знімків, оцінка точності і зовнішнє оформлення. Для фотосхеми готують знімки однакової оптичної густини, перевіряють наявність усіх знімків і технічні вимоги щодо аерофотозйомки. Основою може бути цупкий картон.

Монтування ведуть на креслярській дошці або на спеціальному столі. Суміжні знімки суміщують способом "мигання" або за початковими напрямками. Суть способу "мигання" така. Поклавши правий знімок на монтажний стіл, закріплюють його праву частину з допомогою тягарців. Лівий знімок накладають на правий і швидким підніманням-опусканням добиваються злиття однойменних контурів на обох знімках. Такий спосіб дозволяє бачити одночасно контури верхнього і нижнього аерознімків. Переміщуючи верхній знімок відносно нижнього, добиваються суміщення контурних точок. Суміщення контролюють по двох контурах, розміщених посередині перекриття, тобто по лінії, де проходить поріз. Ці контури повинні бути розміщені симетрично відносно центра знімка (рис. 10). Проколовши голкою контур, відгинають верхній знімок і за незбіганням наколу з відповідною точкою нижнього знімка судять про правильність монтажу. Нев'язку намагаються розподілити в протилежні боки від центра знімка (рис.10).

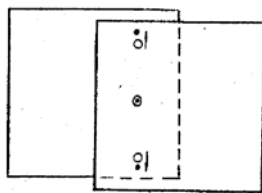


Рисунок 10

Суміщення знімків за початковими напрямками полягає в нанесенні на знімках головних точок, поблизу яких у радіусі не більше як $f/50$ вибирають контурні точки. Їх називають центральними. Центральні точки переколюють з одного знімка на інший з високою точністю. Початковим напрямом називають пряму, що з'єднує центральну точку знімка з центральною точкою, переколотою з

суміжного знімка. Оскільки початкові напрями нанесено на обох знімках, то, сумістивши їх, суміщують і самі знімки.

Суміщені тим чи іншим способом знімки закріплюють тягарцями і розрізають разом ланцетом приблизно посередині поздовжнього перекриття. Розрізання знімків виконують гострим ножом або скальпелем. Лінія порізу повинна бути хвилястою (рис. 11). При цьому треба дотримуватись таких вимог:

- а) обидва знімки повинні бути розрізані одним прийомом;
- б) розрізання повинно проходити близько середньої лінії перекриття;
- в) розрізання не повинно проходити через відповідальні об'єкти (окремі будівля, мости, перехрестя доріг);
- г) розрізання не можна суміщати з лінійними контурами;
- д) бажано проводити розрізання по найбільш темних місцях аерознімків;
- ж) лінія розрізу повинна перетинати лінійні контури (дороги, річки) під прямим кутом.

Підписи незамінні для створення відміток пікетів, показу етажності будівель, для відображення площ та інших атрибутів ділянок на кадастрових планах.

Для внесення певного параметра у вигляді підпису, для всіх помічених об'єктів треба вибрати потрібний параметр у списку на правій панелі Інфо і натиснути на кнопку “око” . У діалоговому вікні вказати операцію “Створити підпис” для створення підпису або “Вилучення підпису” для вилучення.

Підпис, що створений автоматично за допомогою команди створення/вилучення не завжди попадає в потрібну позицію. Крім того, іноді потрібно збільшити або зменшити розмір шрифту. Тому в деяких випадках необхідно “підправити” положення підпису. Перед операцією необхідно помітити об'єкт, який містить його. При цьому всі підписи з'являться в рамці. Далі з цим підписом можна робити наступні операції:

– Перетягування підпису. Для цього необхідно підвести мишку до середини підпису. Після цього натиснути на ліву клавішу мишки, і, утримуючи її пересувати мишку в позицію на карті, куди треба помістити підпис.

– Розворот підпису. Для того, щоб розвернути підпис на будь-який кут, спочатку треба підвести мишку до потовщеної точки на рамці підпису. При цьому з'явиться зображення двох напівкруглих стрілок. Натисніть ліву клавішу мишки і, утримуючи, пересувайте мишку. При цьому підпис буде повертатись відносно точки прив'язки. Коли знайдено потрібне положення, відпустіть ліву клавішу мишки. Підпис зафіксується в новому положенні.

5. Включити “Збір” на правій панелі інструментів. Ця операція включає режим збору даних. У списку “Активний шар” виберіть наступний шар, в який будуть збиратись дані.

6. Після переключення в режим збору об'єктів, перед власне збором окремих об'єктів треба вибрати шаблон, за яким будуть збиратися об'єкти. Шаблон об'єкта вказує програмі, якої форми буде об'єкт, що збирається.

Різним об'єктам можуть бути доступні різні параметри. Скільки і які саме параметри доступні об'єкту залежить від того, до якого шару належить об'єкт. Зробити ті чи інші параметри доступними для шару можна в *Менеджері шарів*.



Використовуйте кнопку на верхній панелі для створення параметрів, які доступні для поміченого шару. У вікні зліва знаходиться весь список параметрів карти, а справа – параметри, які доступні для даного шару. Треба помітити потрібні параметри в лівому списку, а потім натиснути на кнопку Сору для переносу їх в правий.

Важливою властивістю параметрів є можливість бути винесеними на карту в якості підписів. За допомогою підписів на карту можна виносити значення різних характеристик об'єкта і розташовувати їх на карті в довільній позиції.

Коли потрібні параметри створені і доступні для шару, можна заповнити їх значення для конкретних об'єктів. Для цього треба помітити об'єкт, для якого вводиться значення одного чи декількох параметрів і переключитися на закладку Інфо на правій інструментальній панелі. На цій закладці розташована таблиця доступних поміченому об'єкту параметрів і їх значень, куди можна внести значення параметрів або змінити раніше введені значення. Щоб зареєструвати зміни значень параметрів, треба натиснути кнопку ОК під таблицею.

Підпис являє собою значення параметра об'єкта, яка винесена на карту для відображення. Любий параметр об'єкта може бути винесений як підпис. Атрибути підпису залежать від атрибутів, заданих в *Менеджері параметрів*, а розмір, орієнтацію і позицію кожного підпису можна змінити безпосередньо на карті за допомогою мишки.

Створення і видалення підписів не впливає на значення параметра. Тобто підписи є вторинними: параметр може бути винесений на карту чи ні. При наступній зміні значення параметра його підпис обновлюється автоматично.

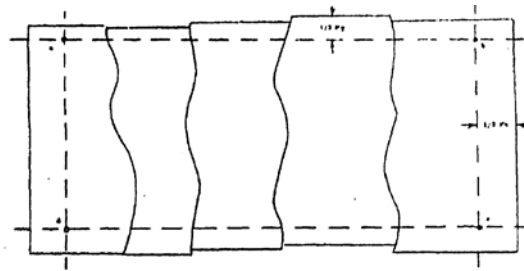


Рисунок 11

При розрізанні аерознімків слід дотримуватись обережності, щоб не порушити їх взаємного розташування.

До іншого знімка, вже обрізаного з однієї сторони, таким же чином монтується третій, і ці два знімки розрізаються. Так само монтують і ріжуть решту знімків маршруту.

Центральні частини аерознімку, викладають дощці, поєднуючи контурні розрізи, фіксують тягарцями. Обрізки відкладають (вони будуть потрібні для контролю фотосхеми).

Далі зрізають зовнішні краї фотосхеми. Зовнішній зріз потрібно робити під лінійку. Щоб лінії розрізів приблизно проходили через однойменні точки на суміжних фотосхемах, як правило на кутках крайніх знімків вибирають контурні точки, приблизно на середніх лініях перекриття, через які проходять розрізи. (рис. 11).

Закінчивши обрізування аерознімків, наклеюють їх середні частини на картон. Склеювання починають із середніх знімків маршруту. Найкраще використовувати клей для гуми, який не коробить знімків або ПВА. Знімки приклеюють поступово від середини до країв, добиваючись такого їх положення,

яке було при монтуванні.

При монтажі багатомаршрутної фотосхеми приклеюють спочатку середній маршрут. При цьому наклеюють тільки середню частину знімків, залишаючи верхні й нижні краї вільними. Потім накладають два середніх знімки суміжного маршруту і, досягнувши збігання, яке контролюють проколами, роблять порізи спочатку по поздовжньому перекриттю, а потім – по поперечному.

Точність фотосхеми оцінюють у такій послідовності. Приклавши обрізок до відповідного шва фотосхеми (рис.12) так, щоб утворився цілий знімок, вибирають чіткі контури на обрізку і на них роблять проколи тонкою голкою.

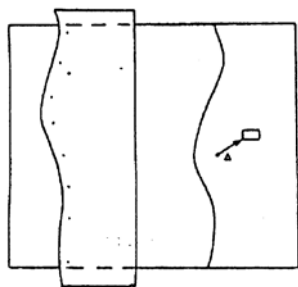


Рисунок 12

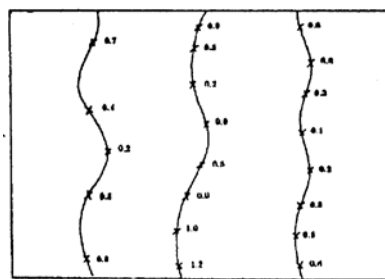


Рисунок 13

Уздовж кожного шва роблять не менше як десять проколів на відстані приблизно 2 мм від порізу. Потім забирають обрізок і на схемі вимірюють розходження Δ між наколами і тими контурами, на які робилися наколи. Значення Δ (мм) записують у таблицю і коректурному листі (рис.13). Точність оцінюють для всіх порізах. Обчислюють середню квадратичну помилку монтажу :

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta^2}{2n}}$$

де n - загальна кількість виміряних розходжень між наколами і відповідними контурами.

Оформлення фотосхеми полягає в нанесенні підписів, які включають дані, необхідні для її використання. Це назва, масштаб, стрілка для орієнтування відносно сторін світу, дата виготовлення та виконавці.

ЗМІЩЕННЯ ТОЧОК АЕРОФОТОЗНІМКА ВНАСЛІДОК НАХИЛУ І РЕЛЬЄФУ

Топографічний план місцевості будують в ортогональній проекції, в якій кути місцевості зображуються без спотворень, горизонтальні проекції лінії місцевості на плані пропорціонально зменшені, а саме зображення подібне до місцевості.

Обробка картографічної інформації в системі ЦФС “Дельта”

Збір даних

Програма дозволяє виконувати збір векторної інформації за растровими зображеннями. Збір за знімками можливий як в стереорежимі, так і в моно.

Якщо треба створити карту “з нуля”, то треба зробити збір даних для карти. Збір даних – це векторизація даних з растрових зображень. В цьому випадку послідовність дій наступна:

1. Виконати орієнтування сканованих зображень знімків, за якими треба зробити збір даних.
2. Створити нову, пусту карту за допомогою команди “Файл/Новий”.
3. Відкрити растровий файл (або два, якщо це стереопара) за допомогою команди “Растр/Відкрити”.
4. За допомогою “Менеджера шарів” створити шари, в які будете збирати дані. Кожний об’єкт карти належить до будь-якого шару. Шар – це основна характеристика об’єкта – він показує, якої природи цей об’єкт і як виводити цей об’єкт на карту.

Шар має ім’я, яке описує об’єкти, що йому належать, ідентифікатор – унікальний номер шару у списку, атрибути лінії, заливки і стану, які управляють видимістю, поміткою і редагуванням об’єктів, що належать шару, умовний знак.



Використовуйте вказану кнопку менеджера шарів для присвоєння шару умовного знака

Шару можуть бути доступні (за вибором користувача) різні параметри, тобто поля бази даних, і яких зберігаються характеристики об’єктів.

Параметри – це характеристики об’єкта, які описують кожний об’єкт окремо, зберігаючи для кожного об’єкта його унікальні властивості.

Створювати і редагувати параметри треба в Менеджері параметрів. Параметр має ім’я, яке вказує, яку характеристику об’єкта він містить, ідентифікатор – унікальний номер параметра у списку, атрибути лінії, заливки, шрифту і видимості, а також маску.

- Вкажіть, як треба починати процес орієнтування спочатку або продовжувати останній проведений процес.
- Коли всі описані вище настройки зроблені, можна приступати до процесу орієнтування, натиснувши кнопку Виконати.

Процес орієнтування

При переході із вікна початкових установок до процесу орієнтування з’являється вікно Зовнішнє орієнтування, яке містить одну або дві панелі з растровими образами в залежності від обраного методу орієнтування. В цьому вікні треба зареєструвати положення опорних точок.

Для орієнтування стереопари необхідно використовувати стереоскоп для стереоскопічного спостереження моделі місцевості.

За допомогою мишки або штурвалів встановіть марку на першу опорну точку. При орієнтуванні стереопари спочатку треба встановити марку на опорну точку на лівому образі, потім обертанням ногого штурвала або переміщенням мишки (останнє при натиснутій кнопці **Ctrl**) ліквідувати повздовжній паралакс на опорній точці. Натисненням лівої клавіші мишки або одинокої педалі зареєструйте координати точки.

Для другої опорної точки програма знову перемістить марку в центр образу. Для неї повторити процес, вказаний для першої точки.

Для наступних точок програма автоматично переміщає марку в область чергової опорної точки. Порядок їх реєстрації такий самий.

Примітка: Всі точки необхідно виміряти, дотримуючись їх черги в описі опорних точок. Ідентифікатор чергової опорної точки вказується в стрічці статусу програми в нижній частині вікна орієнтування.

Цей процес продовжується поки не будуть зареєстровані координати всіх опорних точок, вказаних для формування цифрової моделі. В процесі вимірювань формується таблиця результатів. Після реєстрації останньої опорної точки програма виключить режим управління і в таблиці результатів будуть представлені кінцеві результати орієнтування.

Ця таблиця складається з наступних колонок:

1. В першій колонці відображається ідентифікатор зареєстрованої точки.
2. В другій – відхилення поміряної координати X від вказаної в описі. В круглих дужках вказується вага відхилення X точки в середньому квадратичному відхиленні.
3. В третій – відхилення поміряної координати Y від вказаної в описі. В круглих дужках вказується вага відхилення Y точки в середньому квадратичному відхиленні.
4. В четвертій – відхилення поміряної координати Z від вказаної в описі. В круглих дужках вказується вага відхилення Z точки в середньому квадратичному відхиленні.
5. В останній стрічці таблиці вказуються середні квадратичні відхилення поміряних координат опорних точок від описі.

Фотографічний аерознімок представляє собою центральну проекцію, в якій кути від точки місцевості проходять через одну точку S – центр проекції і в перетині з картинною площиною P утворюють проекції точок місцевості. Аерознімок, як центральна проекція, не є точним зображенням місцевості, і ця відмінність буде визначатись кутом нахилу аерознімку.

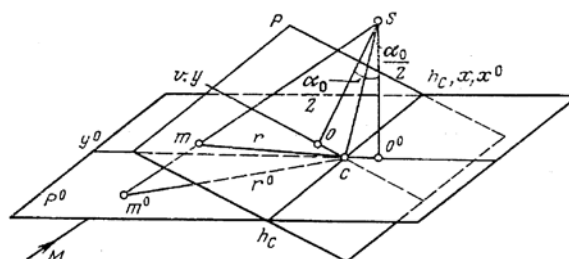


Рисунок 14

Нехай нахилений і горизонтальний знімки мають спільний центр проекції s (рис.14). В цьому випадку знімки перетинаються по горизонталі h_ch_c , що проходить через точку нульових спотворень c , позаяк пряма sc представляє собою бісектрису кута нахилу знімка α_0 і фокусні відстані знімків P і P^0 однакові.

Позначимо через m і m^0 зображення точки місцевості на нахиленому і горизонтальному знімках. Проведемо радіус-вектори r і r^0 від точки c до точок m і m^0 . Кути, утворені r і r^0 з лінією h_ch_c , однакові. Тому якщо знімок P повернути навколо горизонталі h_ch_c і сумістити зі знімком P^0 , то радіус-вектор r співпаде з r^0 , точка m нахилоного знімка буде зміщена відносно точки m^0 горизонтального знімка по радіусу-вектору (рис.15).

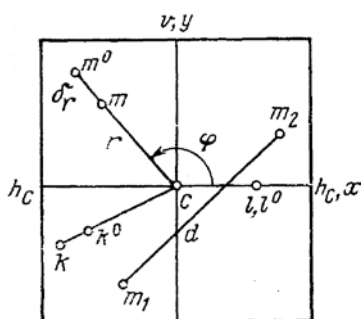


Рисунок.15

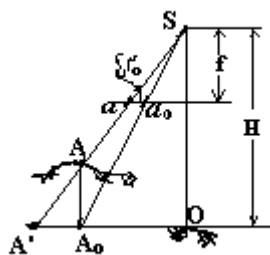


Рисунок16

Таким чином, нахил знімка викликає радіальні зміщення точок. Точка m , яка лежить вище лінії неспотвореного масштабу, при нахилі знімка наближається до точки нульових спотворень c . Точка k , яка розташована нижче лінії h_ch_c віддаляється від точки c . Точка l , яка знаходиться на лінії неспотвореного масштабу, займає однакове місце на нахиленому і горизонтальному знімках. Це пояснюється тим, що масштаб нахилоного знімка величина змінна.

Зміщення точок знімка внаслідок нахилу аерофотознімка вираховується за формулою

$$\delta_{r_\alpha} = -\frac{r^2 \sin \varphi \sin \alpha_0}{f - r \sin \varphi \sin \alpha_0},$$

де r – відстань від точки C до точки, яка визначається; α – кут нахилу оптичної осі АФА, φ – кут між головною горизонталлю і напрямом з точки c на дану точку.

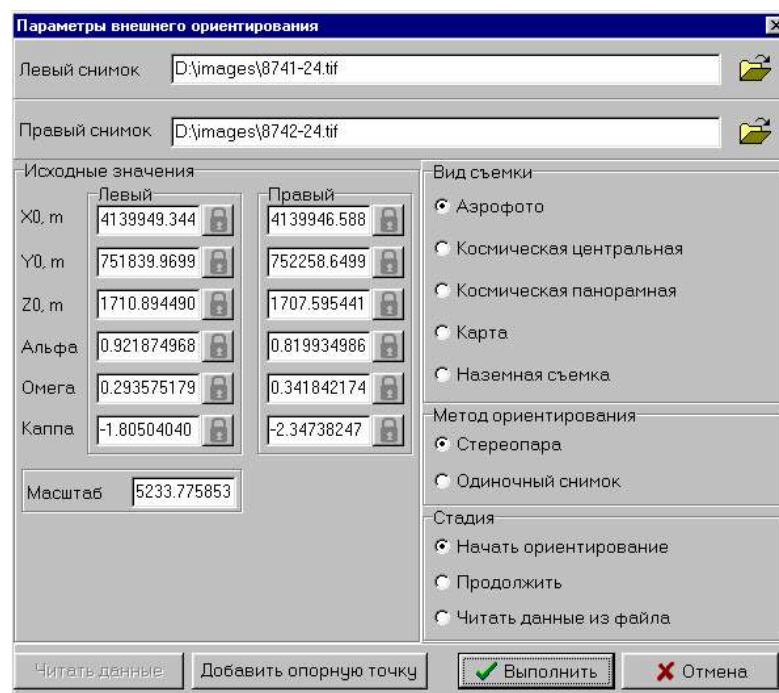
Кут нахилу знімка завжди додатній, тому знак δ_{r_α} залежить від знака синуса кута φ . При додатному значенні синуса, коли радіус-вектор направлений в точку,

що лежить вище лінії неспотвореного масштабу, величина δ_{r_α} від'ємна, при від'ємному значенні синуса кута φ , коли радіус-вектор направлений в точку, що розташована нижче лінії неспотвореного масштабу, зміщення додатне. При $\varphi = 0^\circ$ або $\varphi = 180^\circ$ $\delta_{r_\alpha} = 0$.

ЗОВНІШНЄ ОРІЄНТУВАННЯ

Розділ зовнішнього орієнтування цифрової моделі призначений для обчислення елементів зовнішнього орієнтування цифрової моделі. Для розрахунків програма використовує координати опорних точок, що занесені у файл цифрової моделі і поміряні на растровому образі координати цих точок. При обробці аеро- або космічних знімків використовуються також дані опису камери.

Щоб увійти в розділ зовнішнього орієнтування треба натиснути кнопку **Model** на основній панелі інструментів і вибрати в меню пункт Зовнішнє орієнтування. Після цього на екрані з'явиться вікно початкових установок, в якому можна вказати які образи і треба орієнтувати.



Початкові установки.

Для того, щоб виконати зовнішнє орієнтування цифрової моделі, необхідно визначити наступні вихідні дані і параметри орієнтування:

- Вказати вид зйомки
- Вказати, що буде орієнтуватися стереомодель чи одинокий образ.
- Вкажіть ім'я одного або двох файлів растрових образів, для цього існує два поля вводу для лівого і правого знімків стереопари з відповідними кнопками зліва від них. При орієнтуванні поодинокого образу його ім'я вказується в полі вводу лівого знімка.
- Включення прапорця Перетворення в епіполярну систему призведе до перетворення знімків в епіполярну систему координат після завершення процесу взаємного орієнтування. Це необхідно, якщо кути взаємного орієнтування знімків настільки великі, що спотворюють стереоефект
- Коли всі настройки зроблені, можна приступати власне до процесу орієнтування, натиснувши кнопку **Виконати**

Процес орієнтування

При переході з вікна початкових установок до процесу орієнтування з'являється вікно Взаємне орієнтування, яке містить дві панелі з растровими образами. Якщо ви почали процес орієнтування спочатку, програма включає режим управління і переводить марку лівого знімка в позицію першої точки на схемі розташування точок.

Далі потрібно встановити марку лівого образу на чіткий контур (кут бордюру, кут даху, поворот дороги, ріки і т.д.). наведіть марку на лівому образі на потрібну точку за допомогою мишки або штурвалів. Зафіксуйте положення лівого образу, натиснувши клавішу **Стр** або праву подвійну педаль (при нажатій на клавіатурі клавіші **Стр** або правій подвійної педалі пересувається тільки правий образ) перемістіть марку правого знімка в ту точку на правому знімку, яка найбільш відповідає позиції марки на лівому знімку. Зареєструйте це положення. Програма перемістить марку в область наступної точки схеми.

Повторіть вищеописану процедуру для всіх точок схеми. Після реєстрації чергової точки, її результати заносяться в таблицю результатів орієнтування. Після того, як всі точки схеми зареєстровані, програма виключить режим управління і в таблиці результатів будуть кінцеві результати орієнтування.

В процесі орієнтування можна тимчасово виключити режим управління, натиснувши кнопку **Esc**. Щоб продовжити орієнтування натисніть на кнопку **Захват**, орієнтування продовжиться з наступної незареєстрованої точки.

В нижній частині вікна взаємне орієнтування знаходиться таблиця результатів орієнтування, яка починає відображатися після реєстрації координат шести точок. Ця таблиця складається з 4-х колонок:

1. В першій графі відображається порядковий номер зареєстрованої точки.
2. В другій графі відображається поперечний паралакс (в мкм) для кожної зареєстрованої точки і середнє квадратичне відхилення поперечного паралакса.
3. В третій графі відображається вага кожної точки в середньому квадратичному відхиленні паралакса.
4. В четвертій графі відображається стан точки — включена вона в розрахунок результатів орієнтування або ні.

Таблиця дозволяє повторити реєстрацію поміченої точки.

Для планового знімка формулу можна спростити до вигляду:

$$\delta_{r_{\alpha}} = -\frac{r^2 \alpha_0}{f \rho} \sin \varphi.$$

Характер зміщення точок, обумовленого рельєфом місцевості, можна прослідкувати на рис.16. Проведемо на місцевості уявлену площину, яка розташована на середній висоті і спроектуємо на неї точку A . Отримаємо точку A_0 . Якщо би ми сфотографували цю площину, то отримали би на аерофотознімку зображення точки A_0 в точці a_0 . Продовжимо проєктуючий промінь SaA до перетину з середньою площиною в точці A_1 і опустимо перпендикуляр SO на площину. Введемо наступні позначення: $AA_0 = h$; $A_1O = R$; $SO = H$; $A_1A_0 = \Delta h$; $ao = r$ і $aa_0 = \delta_h$. З подібності трикутників SA_1O і AA_1A_0 витікає

$$\frac{h}{\Delta h} = \frac{H}{R}, \text{ звідки } \Delta h = \frac{Rh}{H}.$$

Виразимо R і Δh в масштабі знімка:

$$R = r \frac{H}{f}; \quad \Delta h = \delta_h \frac{H}{f}$$

і в кінцевому вигляді

$$\delta_h \equiv \frac{rh}{H}.$$

Таким чином, щоб привести зображення на горизонтальному аерофотознімку до геометричної подібності зображення на карті, необхідно зсунути точки на величину δ_h . При цьому, якщо точка розташована вище вибраної середньої площини, то її зображення слід зсунути по напрямку до головної точки аерофотознімка, а якщо нижче, то в протилежну сторону. З формули видно, що поправка за рельєф буде тим більша, чим більша амплітуда рельєфу і чим далі відстоїть зображення точки від головної точки знімка. Тому на краях аерофотознімка спотворення за рельєф завжди буде більше ніж в центральній зоні. Поправка зменшиться, якщо буде збільшена висота фотографування.

- Завдання: 1. Накреслити схему центральної проекції і підписати основні площини, лінії і точки.
2. Визначити величину зміщення зображення точки внаслідок кута нахилу.
3. Визначити величину зміщення зображення точки внаслідок впливу рельєфу місцевості.

Варіанти даних для виконання завдання приведені в таблиці 1 додатку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5.

СПРОЩЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ АЕРОЗНІМКА

З геометричної точки зору аерофотознімок являє собою центральну проекцію (перспективу) ділянки земної поверхні, а план – ортогональну.

Центральна проекція в загальному випадку відрізняється від ортогональної. Якщо би в момент фотографування кут нахилу аерознімка дорівнював нулю і місцевість являла б собою горизонтальну площину, то зображення на аерознімку було б рівноцінно плану. Але обидві ці умови, як правило, не виконуються при аерофотозйомці, що обумовлює різницю між зображенням на аерофотознімку і плані. Перетворення центральної проекції (аерознімка) в ортогональну (план) – головна задача аерофотогеодезії. Отримання аерознімка і перетворення його в

план здійснюється за допомогою складної сучасної апаратури. В основу теорії і конструкції багатьох приладів покладені принципи центрального проектування.

Таким чином, для вмілого використання аерознімків, розуміння основних задач аерофотогеодезії необхідна підготовка в області теорії перспективи і розвинути просторове мислення. Допомогти студентам оволодіти основними законами перспективи – мета цієї роботи.

Зміст виконання лабораторної роботи

Розв'язати наступні задачі:

Задача №1.

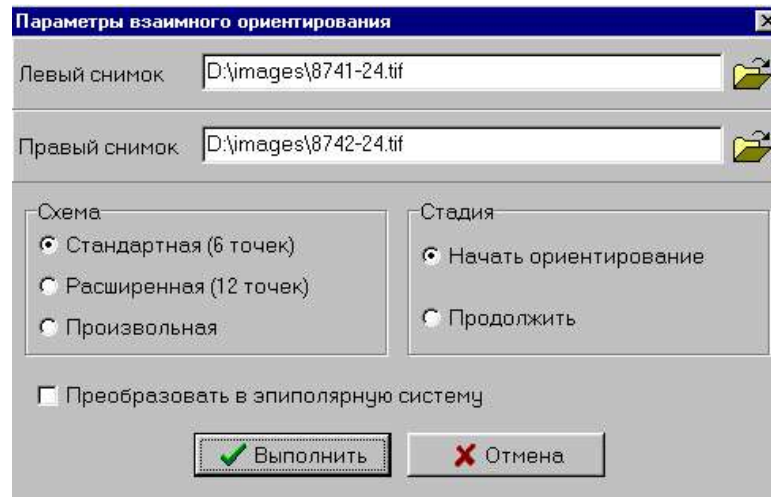
Побудувати перспективу двох паралельних горизонтальних прямих

1. Опис обраної камери не відповідає растровому образу.
2. Є помилки в координатах міток, вказаних в опису камери.
3. Низька роздільна здатність растрового образу.
4. Велика деформація растрового образу.
5. Низька точність наведення марки на координатні мітки.

ВЗАЄМНЕ ОРІЄНТУВАННЯ

Розділ взаємного орієнтування стереопари знімків призначений для обчислення елементів взаємного орієнтування знімків. Програма використовує помір'яні по растровим образам координати характерних точок лівого і правого знімків. Програма дозволяє використовувати різні схеми вимірювання координат точок: стандартну схему із 6-ти точок, розширену схему із 12-ти точок і довільну.

Щоб увійти в розділ взаємного орієнтування треба натиснути на кнопку **Model** на основній панелі інструментів і вибрати в меню пункт взаємне орієнтування. Після цього на екрані з'явиться вікно початкових установок, в якому можна вказати які образи і як треба орієнтувати.



Вікно початкових установок дозволяє вказати наступні параметри для орієнтування:

- Вкажіть імена двох файлів растрових образів. Для цього існує два поля вводу для лівого і правого знімків стереопари з відповідними кнопками зліва від них.
- Вкажіть схему розташування точок. Схема позначає зони, і які програма послідовно буде переміщати марки для реєстрації чергової точки.
- Вкажіть, треба починати процес орієнтування спочатку чи продовжити останній проведений процес

Коли всі настройки зроблені, можна приступати до процесу орієнтування, натиснувши кнопку **Виконати**. З'являється вікно, де робиться власне процес орієнтування з реєстрацією координатних міток.

Процес орієнтування.

При переході з вікна початкових установок до процесу орієнтування з'являється вікно, в якому є одна чи дві панелі з растровими образами в залежності від обраного методу орієнтування.

Якщо ви починаєте орієнтування спочатку, то при появі вікна внутрішнього орієнтування програма включає режим управління і переміщає марку в зону першої координатної мітки. В режимі управління в центрі панелі, що містить растровий образ, спостерігаєте марку (зелений хрест). Для панелей стереопари марка спостерігається в центрі кожної панелі. В режимі управління видима область пересувається мишкою або поворотами штурвалів. Для стереопари

обидва образи рухаються синхронно. Марку треба пересунути точно на координатну мітку і зареєструвати це положення. Реєстрацію координат спостерігаємої точки можна виконати різними способами: клацнути лівою кнопкою мишки; нажати і відпустити поодинокую педаль; нажати клавішу **Пробіл** на клавіатурі; нажати клавішу **Enter** на клавіатурі. Реєстрація координат можлива тільки при включеному режимі управління.

При орієнтуванні стереопари порядок орієнтування кожної координатної мітки наступний. Спочатку треба встановити марку на мітку на лівому образі, а потім, зафіксувавши лівий образ (натисніть праву подвійну педаль або утримуйте нажатою клавішею **Ctrl**), встановіть марку на мітку правого образу. Далі зареєструйте це положення.

Після реєстрації положення першої координатної мітки програма перемістить марку в область наступної марки. Порядок реєстрації цієї і наступних міток такий самий, як і для першої. При реєстрації чергової мітки, її результати заносяться в таблицю результатів орієнтування. Коли позиція останньої мітки зареєстрована, програма виключає режим управління і таблиця містить кінцеві результати орієнтування.

В процесі орієнтування можна тимчасово виключити режим управління (натиснувши клавішу **Esc**), щоб провести корекцію образів. Щоб продовжити орієнтування, треба нажати кнопку **Захват**, орієнтування продовжиться з наступної незареєстрованої точки.

Якщо у вікні початкових установок ви вибрали продовження останнього процесу орієнтування, то програма не включає режим управління. Марки переводяться в ту позицію, запис якої в таблиці помічений синім кольором.

В процесі вимірювання координат формується таблиця результатів, в якій відображаються номери міток, відхилення поміряних координат від вказаних в описі камери (в мікрометрах) і масштабні коефіцієнти по осям координат.

Причини великих відхилень поміряних координат від вказаних в опису камери, що відрізняються від одиниці більше, ніж 0,01 можуть бути наступними:

Задача №2.

Побудувати перспективу трикутника, довільно розташованого в предметній площині.

Задача №3.

Побудувати перспективу квадрата, розташованого в предметній площині. Дві сторони квадрата паралельні лінії зйомки.

Задача №4.

Побудувати перспективу квадрата, дві сторони якого є вертикальними відрізками.

Задача №5. На макетному знімку дано зображення довільно орієнтованого квадратного контуру місцевості. Знайти основні лінії і точки знімка, а також кут його нахилу. Значення елементів внутрішнього орієнтування приведені в табл.2 додатку.

Побудова перспективних зображень

Користуючись основними положеннями теорії перспективи, , можна графічно будувати зображення в картинній площині фігур, що перебувають у предметній площині, і, навпаки, маючи зображення, можна графічно побудувати оригінал. Паралельні прямі, що перебувають у площині E , зображують в картинній площині в такому порядку (рис.17):

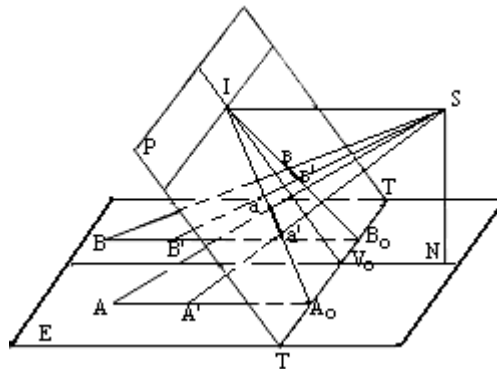


Рисунок 17. Побудова зображення паралельних прямих

1. Продовжують прямі AA' і BB' до перетину з лінією TT в точках A_0 і B_0 .
2. Через центр проекції проводять промінь, паралельний цим прямим. На перетині з картинною площиною промінь утворить точку сходу даних прямих.

Якщо прямі паралельні лінії напрямку зйомки, точкою сходу буде головна точка сходу.

3. Точку сходу з'єднують з точками перетину прямих зі знімком і дістають зображення прямих.

4. Щоб дістати зображення відрізків прямих, проводять промені з кінцевих точок відрізків у центр проекції. На перетині цих променів з відповідними зображеннями прямих дістають шукані кінцеві точки відрізків aa' і vv' .

Якщо пряма паралельна картинній площині і не перетинається з нею (рис.18), то знаходять точку перетину прямої з лінією напрямку зйомки. Цю точку з'єднують з центром проекції і на перетині зображення лінії напрямку зйомки (головної вертикалі) з цим променем дістають точку, через яку проводять пряму, паралельну лінії TT . Це й буде шукана пряма. Кінцеві точки її можна знайти, провівши промені з центра проекції на точки прямої AA' .

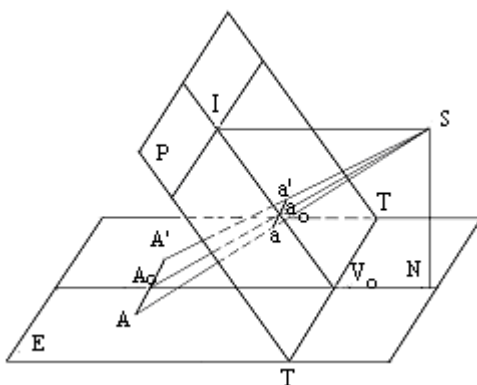


Рисунок 18. Побудова зображення прямої, перпендикулярної напрямку зйомки

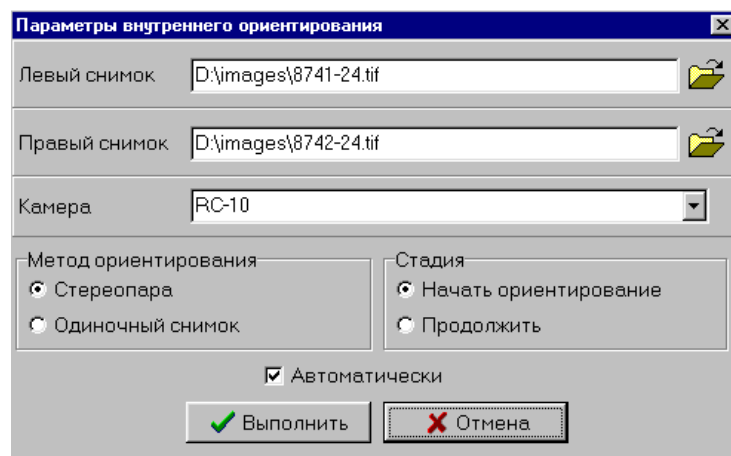
Для побудови зображення вертикальних прямих використовують точку надиру n . Вона є точкою сходу вертикальних прямих. Порядок побудови зображення вертикальної прямої такий (рис.19):

ВНУТРІШНЄ ОРІЄНТУВАННЯ

Розділ внутрішнього орієнтування растрового образу/образів призначений для визначення параметрів перетворення реальної системи координат растрового

образу в еталонну систему координат знімка. Для визначення цих параметрів використовуються координати міток з опису фотокамери і координати цих же міток поміряних на образі.

Щоб увійти в розділ внутрішнього орієнтування треба натиснути кнопку **Модель** на основній панелі інструментів програми і вибрати в меню пункт внутрішнє орієнтування. Після цього на екрані з'явиться вікно початкових установок, в якому можна вказати, які образи і як треба орієнтувати.



Початкові установки:

- Спочатку треба вказати, що буде орієнтуватися стереомодель або одинокий образ
- Вказати ім'я одного або двох файлів растрових образів. Для вказання файлів існує два поля вводу для лівого і правого знімків стереопари з відповідними кнопками справа від них.
- Впевнитись, що для орієнтування вибраний правильний опис камери.
- Вкажіть, треба починати процес орієнтування спочатку чи продовжити останній проведений процес.
- Вкажіть, чи треба виконати процес орієнтування в автоматичному режимі. Якщо прапорець буде встановлений, програма буде робити внутрішнє орієнтування за методом кореляції. При успішному завершенні орієнтування будуть показані його результати, в противному випадку програма перейде в режим "Ручного" орієнтування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

РОБОТА НА ФОТОГРАММЕТРИЧНІЙ СТАНЦІЇ “ДЕЛЬТА”

Вихідним матеріалом для складання цифрових карт служать растрові образи, що отримані скануванням аерознімків, космічних знімків, а також результати наземної зйомки.

Для формування і оновлення цифрової карти необхідно за допомогою растрових образів і допоміжних даних створити цифрову модель місцевості.

Для створення цифрової моделі необхідно виконати наступні етапи:

1. Визначити опорні точки для орієнтування растрового образу.
2. Виконати внутрішнє орієнтування растрового образу.
3. Для стереопари виконати взаємне орієнтування знімків.
4. Виконати зовнішнє орієнтування цифрової моделі.

Пакет програм включає в себе програми MODELS.EXE, TRIANPR.EXE, TRIADA.EXE і GED.EXE. Коли запускається програма MODELS.EXE, з'являється основна панель інструментів. Для входу в один з основних розділів пакету, треба натиснути відповідну кнопку на панелі інструментів.

Натиснувши кнопку **Камера**, ви викликаєте вікно списку камер.

Якщо растрові знімки були отримані скануванням аеро- або космічних знімків, то треба вказати камеру, яка використовувалася. Для цього треба помітити потрібну камеру, а потім виконати команду “зробити активною”. Ім'я активної камери буде зображатися жирним шрифтом. Дані цієї камери будуть використовуватись в процесі орієнтування.

Натиснувши кнопку **Опора**, ви викликаєте вікно списку опорних точок. В лівій частині вікна розташована Графічна схема розташування опорних точок. Схема дозволяє побачити взаємне розташування опорних точок списку. Схема формується для активної таблиці опорних точок. В правій частині вікна розташовані таблиці з ідентифікаторами і координатами опорних точок. В верхній таблиці відображаються опорні точки для поточної моделі. У файл цифрової моделі переносяться всі точки з верхньої таблиці опису опорних точок.

Орієнтування растрових образів

Цифрова модель місцевості створюється на основі растрового образу і допоміжної інформації. Для створення цифрової моделі необхідно:

1. Вибрати опис аерофотокамери (крім моделі, що створюється по сканованій карті).
2. Помітити опорні точки, необхідні для зовнішнього орієнтування моделі.
3. Виконати внутрішнє орієнтування растрового образу (крім моделі, що створюється по сканованій карті).
4. Виконати взаємне орієнтування знімків.
5. Виконати зовнішнє орієнтування цифрової моделі.

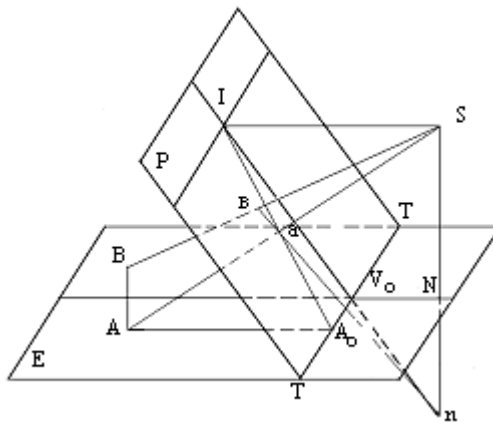


Рисунок 19. Побудова зображення вертикальної кривої

1. Проводять через дану вертикальну лінію пряму, паралельну напрямку зйомки, і будують її зображення відомими методом.
2. Зображення основи вертикальної прямої знаходять, проводячи пряму AoJ і промінь SA . Вона перебуває на їх перетині в точці a .
3. Точка b перебуває на перетині лінії, що проходить через точки n і a , з променем SB .

Графічна побудова при рішенні задачі №5 робиться на макетному знімку.

Макетний знімок являє собою прямокутник довільного розміру, але не менший ніж 6×13 см. На середині кожної сторони макетного знімка розташовують координатні мітки. Прямі, що проходять через 20). Виходячи із заданих елементів внутрішнього орієнтування, на знімку визначають головну

точку. Для знаходження головної вертикалі і лінії горизонту використовують властивості перспектив заданої геометричної фігури. Так, наприклад, якщо в предметній площині був заданий квадрат, дві сторони якого були паралельні лінії напрямку зйомки, то згідно законам побудови перспектив горизонтальних прямих, на знімку він буде мати вигляд трапеції (рис.20, задача №5). На перетині сторін трапеції, що збігаються буде знаходитися точка I .

Позаяк точки O і I розташовані на головній вертикалі, то пряма, проведена через вказані точки, буде головною вертикаллю знімка.

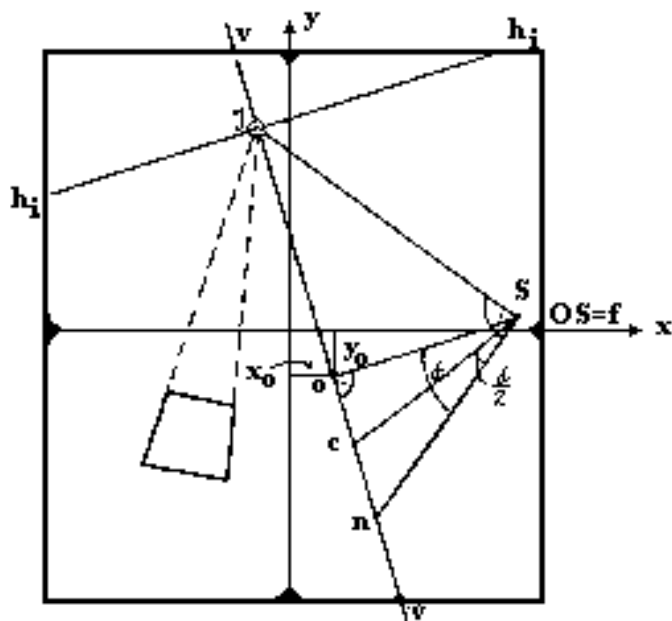


Рисунок 20. Побудова зображення квадрата на макетному знімку

Лінія горизонту знімка проходить через точку I перпендикулярно до головної вертикалі.

Для визначення кута нахилу знімка і положення точки c і n повернемо площину головного вертикалу навколо vv до суміщення з площиною знімка. В цьому випадку точка S буде лежати на перпендикулярі до прямої vv , побудованого в точці o . При цьому відрізок $So=f_k$. Подальші побудови для визначення кута нахилу знімка і положення точок c і n наочно показані на рис.20. Величина кута α вимірюється за допомогою транспортира.

Побудови на реальному перспективному аерозфотознімку аналогічні побудовам на макетних знімках.

Вираховують паралактичний коефіцієнт $K=H/b$, м/мм і записують у графу 8.

Вираховують перевищення за формулою $h = \frac{H}{b} \cdot \Delta p$, м. і записують у графу 9.

Журнал фотограмметричного нівелювання

№ аерознімки	№ п/п	Найменування точки	Відмітка за паралактичним гвинтом, мм			$\Delta p_i = p_i - p_{\text{ф}}$, мм	$K=H/b$, м/мм	$h=k\Delta p$, м	$A-A_i+(\pm h)$, м
			p'	p''	$p_{\text{ф}}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
297-298	1	Головна точка	71,45	71,47	70,46		18,40		288,35
	2	Поверхня дуги	63,36	63,40	68,38	-2,02		-38,27	250,08
	3	Кут рілля	63,72	63,73	68,72	-1,72		-32,02	256,33
	4	Стежка	63,54	63,54	68,54	-1,92		-35,23	251,02

(1) – вихідна точка

Виконав:
Перевірив:

$$p^0 = x_1^0 - x_2^0 \quad (7)$$

1. Визначення базиса фотографування:

$$B' = b_{\text{зн.}} \cdot m_{\text{зн.}} \quad (8)$$

2. Визначення фотограмметричних координат точок місцевості:

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \frac{B'}{p^0} \begin{vmatrix} x_1^0 \\ y_1^0 \\ -f \end{vmatrix} \quad (9)$$

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ВИМІРЮВАННЯ ПОВЗДОВЖНІХ ПАРАЛАКСІВ НА АЕРОЗНІМКАХ.

ОБЧИСЛЕННЯ ПЕРЕВИЩЕНЬ І ВІДМІТОК ТОЧОК

Аерознімки закладають у відповідні касети і орієнтують за початковими напрямками.

Вимірювання поздовжніх паралаксів вибраних пікетних точок виконують в такій послідовності:

Встановлюють марки на вихідну точку, наприклад, на головну точку аерознімки. Обертаючи паралактичний гвинт, дотикаються маркою поверхні моделі в цій точці, знімають відлік з точністю до 0.01 мм і записують у графу 4 журналу фотограмметричного нівелювання.

Виконують 2-й прийом наведення на цій самій точці і записують відлік у графу 5. Розбіжність відліків між 1-м і 2-м прийомами не повинна перевищувати 0.02-0.04 мм.

Аналогічно знімають відліки (не менш, як за два прийоми) на всіх вибраних пікетах і записують в журнал.

Вираховують середнє значення поздовжніх паралаксів для кожної точки і записують у графу 6.

Вираховують різницю між поздовжніми паралаксами відносно вихідної точки за формулою:

$$\Delta p_i = p_i - p_o ,$$

де p_i – поздовжній паралакс пікетної точки; p_o – поздовжній паралакс вихідної точки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

ВІДОБРАЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ НА АЕРОЗНІМКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ СТЕРЕОСКОПУ

Порядок виконання лабораторної роботи

Взаємне орієнтування аерознімків

Орієнтування знімків під стереоскопом для одержання стереомоделі місцевості виконують в такій послідовності:

Визначають положення головних точок на знімках. Для цього прикладають лінійку до протилежних координатних міток і гостро заточеним олівцем в центрі знімка наносять хрест. Центр хреста наколюють тонкою голкою. На кожному аерознімку під стереоскопом розпізнають і наколюють головні точки суміжних аерознімків, які позначають o_l і o_n .

Розміщують знімки під стереоскопом так, щоб їх початкові напрямки (лінії, що проходять через головні точки) знаходились на одній прямій, паралельній головному базису спостерігача і базису стереоскопу.

Розсувають знімки вздовж початкових напрямків, добиваючись найкращого стереоефекту при найменшому напруженні зору. Для цього вибирають будь-який чіткий контур і стараються сумістити два його зображення в одне. При подвоєнні

зображення в поперечному напрямку (поперечний паралакс) треба один із знімків пересунути в цьому напрямку до усунення паралаксу. Зорієнтовані аерознімки закріплюють під стереоскопом кнопками.

Пікети вибираються так, щоб досить повно відобразити рельєф місцевості (вододільні лінії, тальвеги, вершини, підосви, дно яру чи балки, сідловини, місця зміни крутизни схилів, урізи води і т.д.). В лісовій місцевості пікети вибираються на відкритих ділянках (поляни, дороги, просіки, русла річок). Якщо таких місць на знімку мало, то пікети намічають на вершинах самих крупних дерев. При визначенні відмітки такого пікету враховують висоту дерев, яку вимірюють фотограмметричним способом на тих ділянках знімка, де є просіки або галявини. Кількість пікетів залежить від характеру рельєфу (5-15 на 1 дм² знімка), а також від січення горизонталей (чим менше січення тим більше повинно бути пікетів). Пікетні точки наколюються тільки на одному, за звичай лівому, знімку, обводять тонкими кружечками і підписують номерами.

Відображення рельєфу на аерознімках за допомогою стереоскопу

Після того, як на стереопарі визначені відмітки пікетних точок, приступають до рисування горизонталей, яке включає в себе вивчення рельєфу стереопари, інтерполювання висот, проведення горизонталей.

Робота виконується в такій послідовності:

Розглядають стереомодель під стереоскопом і вивчають основні форми рельєфу: напрямки основних водотоків, вододільних ліній. Відмічають вершини, западини та інші елементи рельєфу. Одночасно на знімку наносять “скелет” місцевості, тобто проводять лінії вододілів, тальвегів і т.п..

Проводять інтерполювання висот між пікетними точками тальвегів і вододілів на око. (Основне січення рельєфу при масштабі 1:25000 встановлюється 5-10 м; при масштабі 1:10000 – 2.5-5 м). При інтерполюванні вздовж тальвегу треба мати на увазі, що на початку лощини схил, як правило, крутіший і тому горизонталі треба проводити частіше, ніж в середній її частині. При інтерполюванні схилів треба враховувати, що на рівних схилах горизонталі

лягають рівномірно. Якщо схил нерівномірний, то на найбільш похилих його ділянках горизонталі сгущуються, а на менш похилих – розріджуються.

Горизонталі рисують м'яким олівцем на правому аерознімку (рис.21), починаючи з чітко виражених елементів рельєфу. Коли місцевість горбиста, то горизонталі починають рисувати з вершин, якщо рівнинна то навпаки з долин, ярів.

Велике значення для наочності і виразності рельєфу має форма згину горизонталей. Вона повинна відповідати поперечному профілю. Наприклад, при зображенні долин, поперечний профіль яких має форму букви V, горизонталі слід проводити під гострим кутом. При зображенні долин з плоским широким днищем горизонталі повинні перетинати тальвег під кутами, близькими до прямого. При зображенні схилів з глибоко врізаними лощинами форма горизонталей буде

$$\begin{aligned} m_{\alpha_1} = m_{\alpha_2} &= \frac{f}{ab\sqrt{2}} m_q; & m_{\omega_2} &= \frac{f}{2a^2} m_q \sqrt{3}; \\ m_{\kappa_1} = m_{\kappa_2} &= \frac{m_q}{b} \sqrt{1 + \frac{3f^4}{4a^2}} \end{aligned}, \quad (2)$$

де m_q – середня квадратична помилка виміру поперечного паралаксу.

Визначити за елементами взаємного орієнтування та виміряними координатами контурних точок на знімках координати цих точок у фотограмметричній (базисній) системі координат.

Етапи визначення координат точок місцевості за парою аерофотознімків будуть такі:

3. Визначення матриць орієнтування лівого A_l і правого A_n знімків відносно базисної системи координат (3,4):

$$A_l = \begin{bmatrix} \cos \alpha'_1 & 0 & -\sin \alpha'_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha'_1 & 0 & \cos \alpha'_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \kappa'_1 & -\sin \kappa'_1 & 0 \\ \sin \kappa'_1 & \cos \kappa'_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A_n = \begin{bmatrix} \cos \alpha'_2 & 0 & -\sin \alpha'_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha'_2 & 0 & \cos \alpha'_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 \cos \omega'_2 & -\sin \omega'_2 & 0 \\ 0 \sin \omega'_2 & \cos \omega'_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \kappa'_2 & -\sin \kappa'_2 & 0 \\ \sin \kappa'_2 & \cos \kappa'_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

4. Визначення просторових координат x'_1, y'_1, z'_1 та x'_2, y'_2, z'_2 точок лівого і правого знімків:

$$\begin{vmatrix} X'_1 \\ Y'_1 \\ Z'_1 \end{vmatrix} = A_n \begin{vmatrix} x_1 - x_0 \\ y_1 - y_0 \\ -f \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} X'_2 \\ Y'_2 \\ Z'_2 \end{vmatrix} = A_n \begin{vmatrix} x_2 - x_0 \\ y_2 - y_0 \\ -f \end{vmatrix}. \quad (5)$$

5. Визначення трансформованих координат точок лівого та правого знімків:

$$\left. \begin{aligned} x_1^0 &= -f \frac{X'_1}{Z'_1} \\ y_1^0 &= -f \frac{Y'_1}{Z'_1} \\ x_2^0 &= -f \frac{X'_2}{Z'_2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

6. Визначення поздовжнього паралаксу точок на горизонтальних знімках:

**Журнал результатів вимірів координат та паралаксів точок
стереопари аерофотознімків на АСК**

№ знімків _____ / _____		f= _____ мм	1:m=1: _____	b _{зн} = _____ мм
№ точки	x' (мм)	y' (мм)	p' (мм)	q' (мм)
координатні мітки				
1111				
2222				
3333				
4444				
точки для визначення елементів взаємного орієнтування				
0001				
0002				
0003				
0004				
0005				
0006				
опорні точки				
ОП ₁				
ОП ₂				
ОП ₃				
контурні точки				
1000				
2000				
3000				

наближатися до прямої з різкими поворотами на брівках. Якщо частина площини стереопари вкрита рослинністю, то її висоту треба враховувати, використовуючи дороги, просіки, галявини та інші не покриті рослинністю місця.

Для забезпечення точності та повноти відображення рельєфу, характерні його риси, що не передаються горизонталями основного перерізу (вершини, сідловини, перегини схилів, тераси, блюдця, впадини та інші форми) та рівнинні райони (коли величина між сусідніми горизонталями більше 3 см) зображаються

напівгоризонталями. Горизонталі викреслюються суцільними лініями. Напівгоризонталі викреслюються довгими (0.5 см) штрихами, що утворюють перервні лінії.

Для виконання лабораторної роботи на бригаду з 2-3 чоловік видається стереопара.

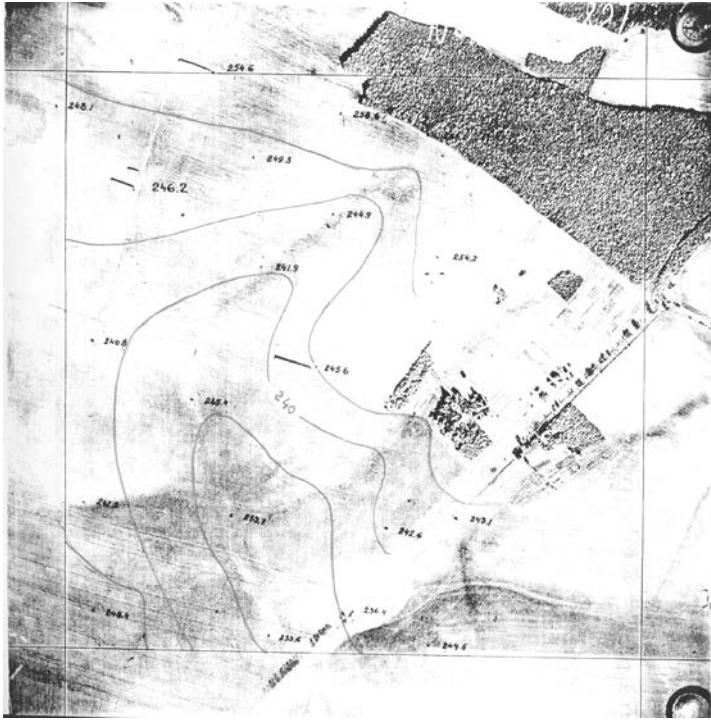


Рисунок 21

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9 АНАЛІТИЧНЕ ТРАНСФОРМУВАННЯ АЕРОФОТОЗНІМКІВ

1. Основні теоретичні положення

Як відомо, горизонтальний знімок площинної місцевості є планом цієї місцевості. Крім того, від координат точок горизонтального знімка дуже просто перейти до координат точок місцевості:

$$X = \frac{H}{f} x_t, \quad Y = \frac{H}{f} y_t, \quad (1)$$

де X, Y – координати точки місцевості в системі $SXYZ$

H – висота фотографування

f – фокусна відстань;

x, y – координати точки на горизонтальному знімку.

Перетворення похилого знімка в горизонтальний знімок заданого масштабу називається трансформуванням знімка. При аналітичному методі трансформування визначаються координати x_t, y_t горизонтального знімку за вимірними координатами точок похилого знімка:

$$\left. \begin{aligned} x_t &= -f \frac{a_1(x-x_0)+a_2(y-y_0)-a_3 f}{c_1(x-x_0)+c_2(y-y_0)-c_3 f} \\ y_t &= -f \frac{b_1(x-x_0)+b_2(y-y_0)-b_3 f}{c_1(x-x_0)+c_2(y-y_0)-c_3 f} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де x, y – координати точки на похилому знімку;

x_0, y_0 – координати головної точки похилого знімка;

a_i, b_i, c_i – направляючі косинуси, які визначаються за формулами:

Результати вимірів координат та паралаксів точок занести в журнал.

Для того, щоб отримати координати та паралакси точок в системі координат знімків, необхідно врахувати значення місць нулів шкал приладу:

$$\begin{aligned} x_n &= x' - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4; & p &= p' - (p_1 + p_2 + p_3 + p_4) / 4; \\ y_n &= y' - (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) / 4; & q &= q' - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) / 4, \end{aligned}$$

де $x_{1-4}, y_{1-4}, p_{1-4}, q_{1-4}$ – координати та паралакси відзняті на координатних мітках;

x', y', p', q' – координати та паралакси точок знімку в системі координат приладу.

Тоді координати точок на правому знімку:

$$x_n = x_n' - p;$$

$$y_n = y_n' - q.$$

Визначення елементів взаємного орієнтування у базисній системі координат.

Для визначення елементів взаємного орієнтування (ЕВЗО) наближеним методом використовують наступні формули:

$$\left. \begin{aligned} \alpha'_1 &= \frac{f}{2ab}(q_6 - q_4); & \alpha'_2 &= \frac{f}{2ab}(q_5 - q_3); \\ \omega'_2 &= \frac{f}{2a^2}(q_3 + q_5 - 2q_1) = \frac{f}{2a^2}(q_4 + q_6 - 2q_2); \\ \kappa'_1 &= \frac{f}{b}\omega_2 - \frac{q_2}{b}; & \kappa'_2 &= \frac{f}{b}\omega_2 - \frac{q_1}{b} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де f – значення фокусної відстані АФА, a, b – модулі абсцис та ординат точок знімка, які розташовані за стандартною схемою (рис.25); q – поперечні паралакси на стандартно розміщених точках, приведені за місце нуля.

Від формул (1) переходять до середніх квадратичних помилок визначення ЕВзО:

Після орієнтування виконують виміри в наступному порядку:

Стереоскопічно наводять марки на координатні мітки знімків в послідовності 1,2,3,4 (рис.24) і знімають відліки.

1) Виконують стереоскопічні виміри запроєктованих точок:

а) шести стандартно розташованих точок (рис.25);

б) трьох довільних контурних точок.

Для визначення елементів взаємного орієнтування необхідно отримати величини q' на шести стандартно розташованих точках (рис.25).

Для наведення лівої марки на точку 1 штурвалом x встановлюють відлік, отриманий по осі x на 2 або 4 мітці (рис.24), а штурвалом y – відлік отриманий по осі y на 1 або 3 мітці.

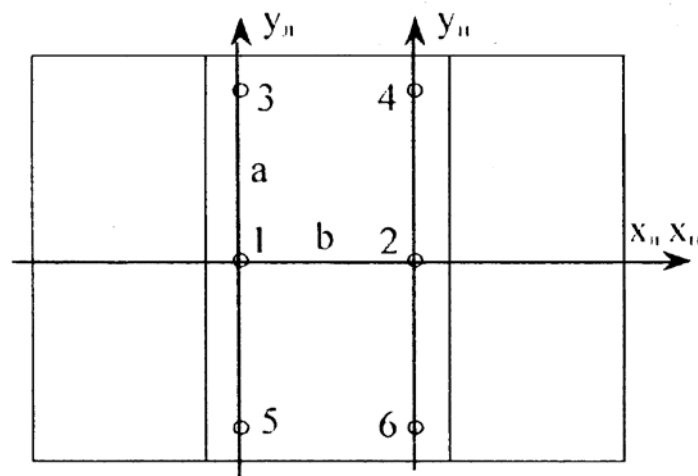


Рисунок 25.

Приймаючи точку 1 за початкову, на решту 5 точках стереоскопічно наводять марки, встановлюючи відліки по x і y з відповідними приростами $a=60\text{мм}$, $b=b_{\text{зн.}}$, та вносячи поправки в положення правої марки штурвалами p і q .

Під час вимірювання координат та паралаксів контурних точок необхідно стереоскопічно навести марки на ці точки та зафіксувати відліки.

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa \\ a_2 &= -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \cos \kappa \\ a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega \\ b_1 &= \cos \omega \sin \kappa \\ b_2 &= \cos \omega \cos \kappa \\ b_3 &= -\sin \omega \\ c_1 &= \sin \alpha \cos \kappa + \cos \alpha \sin \omega \sin \kappa \\ c_2 &= -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \alpha \sin \omega \cos \kappa \\ c_3 &= \cos \alpha \cos \omega \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Таким чином, відповідно до формул (2) і (3), для аналітичного трансформування знімка (тобто для визначення координат x_t, y_t точок горизонтального знімка) необхідно мати:

- виміряні координати x, y точки похилого знімка;
- значення елементів внутрішнього орієнтування знімка (тобто величини f, x_0, y_0);
- значення кутових елементів зовнішнього орієнтування знімка (тобто кути нахилу і розвороту знімка α, ω, κ).

Послідовність процесу обчислення наступна:

1. Визначення направляючих косинусів за формулами (3).
2. Визначення координат точок похилого знімка в системі $SXYZ$

$$\left. \begin{aligned} X' &= a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3 f \\ Y' &= b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3 f \\ Z' &= c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3 f \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

3. Визначення координат точок горизонтального знімка:

$$x_t = -f \frac{X'}{Z'}, \quad y_t = -f \frac{Y'}{Z'}. \quad (5)$$

II. Прорахунок необхідної точності вихідної інформації при аналітичному методі трансформування знімків

Для розв'язання питання про необхідну точність вихідної інформації перейдемо від строгих формул трансформування (2) до наближених. При малих кутах нахилу знімка, з урахуванням членів першого порядку, формули (2) будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} x_t &= x + \left(f + \frac{x^2}{f} \right) \alpha + \frac{xy}{f} \omega - y\kappa \\ y_t &= y + \frac{xy}{f} \alpha + \left(f + \frac{y^2}{f} \right) \omega + x\kappa \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Формули (6) є наближені формули трансформувannya знімків. Вони також, як і строгі формули (2), можуть бути використані для аналітичного трансформувannya знімків, але тільки при малих значеннях кутів α, ω, κ .

Знайдемо залежність між похибками dx_t, dy_t у визначених координатах x_t, y_t та похибками $dx, dy, df, d\alpha, d\omega, d\kappa$.

Тут dx, dy – похибки вимірювань координат x, y похилого знімка; df – похибка величини f ; $d\alpha, d\omega, d\kappa$ – похибки в заданих значеннях кутів нахилу знімка.

Продиференціюємо формули (6) за всіма аргументами. Отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} dx_t &= dx + \left(f + \frac{x^2}{f} \right) d\alpha + \frac{xy}{f} d\omega - y d\kappa + \left(\left(1 - \frac{x^2}{f^2} \right) \alpha - \frac{xy}{f^2} \omega \right) df \\ dy_t &= dy + \frac{xy}{f} d\alpha + \left(f + \frac{y^2}{f} \right) d\omega + x d\kappa + \left(\left(1 - \frac{y^2}{f^2} \right) \omega - \frac{xy}{f^2} \alpha \right) df \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Формули (7) дозволяють визначити помилки dx_t, dy_t коли відомі значення похибок величин, які служать вихідною інформацією при трансформувannya.

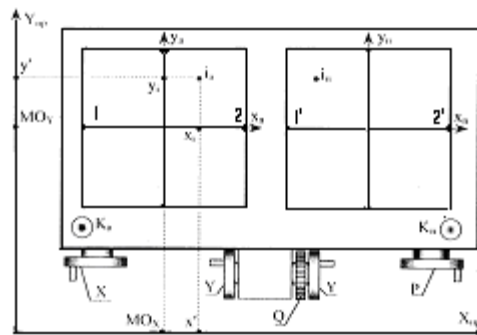


Рисунок 23

2) штурвалом x підводять ліву марку до координатної мітки 2 і спостерігають в лівий мікроскоп. Якщо при цьому марка не проходить через координатну мітку 2, це означає, що ось x на знімку не паралельна осі x загальної каретки. Половину спостережуваного неспівпадіння марки з

координатною міткою усувають гвинтом $\kappa_{\text{л}}$, а другу половину – штурвалом γ . Потім спостерігають в правий мікроскоп і суміщають праву марку з координатною міткою $2'$. При цьому половину неспівпадіння усувають гвинтом $\kappa_{\text{п}}$, а другу половину – штурвалом поперечних паралаксів q . В процесі суміщення марки з координатною міткою $2'$ користуються і штурвалом поздовжніх паралаксів p ;

3) потім знову наводять марки на координатні мітки 1 і $1'$ штурвалами x, y, p, q і повторюють дію 2 поки неспівпадіння марок з координатними мітками не буде перевищувати пів діаметра марки.

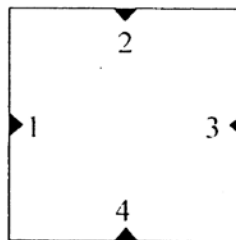


Рисунок 24

Вимірювання знімків на стереокомпараторі виконують так. Установивши знімки стереопари у відповідні касети, орієнтують їх уздовж осей приладу за допомогою гвинтів $\kappa_{\text{л}}$ і $\kappa_{\text{п}}$. Це можна зробити наведенням вимірювальної марки на координатні мітки знімка.

Орієнтування знімків на стереокомпараторі виконується з метою встановлення паралельності координатних систем знімків та приладу. Вважаючи, що осі знімків, які проходять через координатні мітки є взаємоперпендикулярними, достатньо їх зорієнтувати вздовж однієї з осей.

Порядок вимірювання знімків на стереокомпараторі

Вимірювання знімків на стереокомпараторі складається з наступних процесів:

- 1) установки і орієнтування знімків;
- 2) визначення місць нулів шкал приладу;
- 3) стереоскопічного наведення марки на точки знімків і зняття відліків зі шкал приладу;

4) обчислення координат точок і паралаксів.

Установка і орієнтування знімків.

Лівий знімок установлюють в лівий знімкотримач, а правий в правий.

Координатні осі на знімках проходять через виступи координатних міток.

Орієнтують знімки в приладі так, щоби координатні осі x (або y) знімка були строго паралельні координатній осі x (або y) приладу. Знімки орієнтують окремо. Згідно рис.23:

- 1) наводять ліву марку на координатну мітку 1 лівого знімка штурвалами x і y . Праву марку наводять на координатну мітку 1' правого знімка гвинтами паралактичних кареток P і Q ;

Покажемо на прикладах.

Задача 1.

При визначенні координат x_0, y_0 головної точки знімка допущені похибки $dx_0=1\text{мм}$, $dy_0=-0,5\text{мм}$. Яка буде помилка при аналітичному трансформованні точок знімка?

Розв'язок.

Похибки dx_0 і dy_0 приведуть до ідентичних похибок в координатах x, y точок знімка. Тому

$$dx_0 = dx = 1\text{мм},$$

$$dy_0 = dy = -0,5\text{мм}.$$

Згідно з (7), залежність між похибками $dx(dy)$ і $dx_t(dy_t)$ має вигляд:

$$dx_t = dx_0 = dx = 1\text{мм},$$

$$dy_t = dy_0 = dy = -0,5\text{мм}.$$

Задача 2.

При визначенні фокусної відстані була допущена помилка $df=1\text{мм}$. Яка буде помилка в трансформованих координатах точки, коли $x=y=70\text{мм}$, $f=70\text{мм}$, $\alpha=\omega=1^\circ$.

Розв'язок.

Залежність між похибками $dx_t(dy_t)$ і df , згідно з (7), має вигляд

$$\left. \begin{aligned} dx_t &= \left[\left(1 - \frac{x^2}{f^2} \right) \alpha - \frac{xy}{f^2} \omega \right] df \\ dy_t &= \left[\left(1 - \frac{y^2}{f^2} \right) \omega - \frac{xy}{f^2} \alpha \right] df \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

Підставимо значення всіх величин у формули (8), отримаємо:

$$dx_t = \left[\left(1 - \frac{70^2}{70^2} \right) \frac{1^\circ}{57.3^\circ} - \frac{70^2}{70^2} \frac{1^\circ}{57.3^\circ} \right] \cdot 1 = -0.017 \text{ мм}$$

$$dy_t = -0.017 \text{ мм.}$$

В реальних умовах ми не знаємо конкретних значень помилок визначення елементів орієнтування знімка і помилок вимірювання координат точок знімка. Як правило відомі значення середніх квадратичних помилок визначення елементів орієнтування і середня квадратична помилка вимірювання.

Відповідно (7), використовуючи відомі правила, перейдемо до середніх квадратичних помилок m_{x_t} і m_{y_t}

$$\left. \begin{aligned} m_{x_t}^2 &= m_x^2 + \left(f + \frac{x^2}{f} \right)^2 m_\alpha^2 + \left(\frac{xy}{f} \right)^2 m_\omega^2 + y^2 m_\kappa^2 + \left(\left(1 - \frac{x^2}{f^2} \right) \alpha - \frac{xy}{f^2} \omega \right)^2 m_f^2 \\ m_{y_t}^2 &= m_y^2 + \left(\frac{xy}{f} \right)^2 m_\alpha^2 + \left(f + \frac{y^2}{f} \right)^2 m_\omega^2 + x^2 m_\kappa^2 + \left(\left(1 - \frac{y^2}{f^2} \right) \omega - \frac{xy}{f^2} \alpha \right)^2 m_f^2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де m_{x_t} і m_{y_t} – середні квадратичні помилки координат x_t, y_t , які визначаються за формулами (2); m_x, m_y – середні квадратичні помилки вимірювань координат x, y похилого знімка; $m_\alpha, m_\omega, m_\kappa, m_f$ – відповідно середні квадратичні помилки значень величин $\alpha, \omega, \kappa, f$.

Задача 3.

Середня квадратична помилка визначення кутових елементів зовнішнього орієнтування дорівнює $3'$. Яка буде точність трансформованих координат для точки, координати якої на похилому знімку: $x=70\text{мм}$, $y=70\text{мм}$, $f=100\text{мм}$.

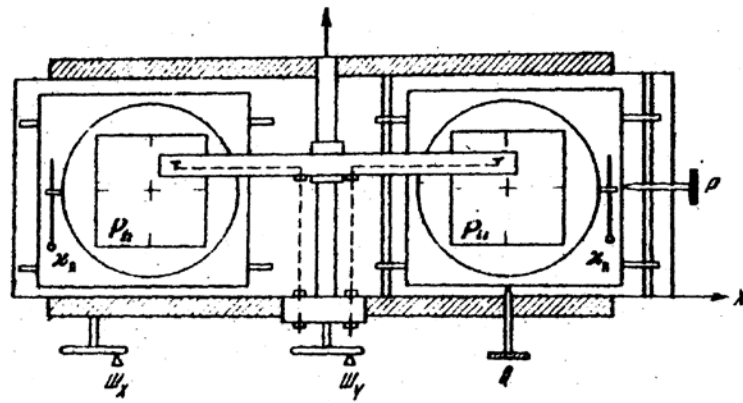


Рисунок 22. Схема стереокомпаратора

Оптична система стереокомпаратора 1818 складається з подвійного мікроскопа з 8-кратним збільшенням. Діаметр поля зору об'єктиву 16 мм. Для установки на різкість марки діють накатаними трубками окулярів, а для отримання різкості знімків – накатаними трубками об'єктивів. Відстань між окулярами можна змінювати поворотами їх оправ.

Подвійний мікроскоп, оптичні деталі якого знаходяться головним чином в нижній частині, має таку будову, що є можливість при нерухомих окулярах і рухомих об'єктивах розглядати любую частину знімків, при цьому зображення знімка в окулярі завжди буде різким. В полі зору окуляра видно дві марки, а також чотири перехрестя.

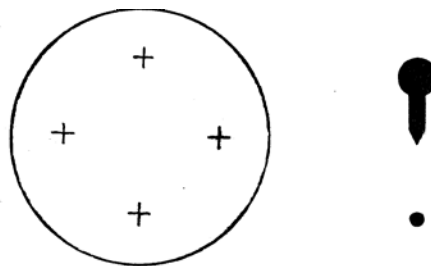


Рисунок. 21. Стереокомпаратор СТЕКО 1818

Спостереження знімків ведеться за допомогою бінокулярної системи, в окулярах якої знаходяться вимірювальні марки. Вони проєціюються на зображення

Вимірювання координат точок лівого знімка здійснюється переміщенням загальної каретки по осі x штурвалом x і переміщенням оптичної системи по осі

у штурвалом $У$. Таким чином можна навести вимірвальну марку на будь-яку точку лівого знімка.

Для вимірювання поздовжніх і поперечних паралаксів служать незалежні переміщення правої каретки вздовж осі x за допомогою штурвала P і правого коліматора з вимірвальною маркою вздовж осі y за допомогою кільця з насічкою Q .

Розв'язок.

За виразом (9), залежність між величинами $m_{x_t} (m_{y_t})$ і середніми квадратичними помилками кутових елементів орієнтування знімка має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} m_{x_t}^2 &= \left(f + \frac{x^2}{f} \right)^2 m_{\alpha}^2 + \left(\frac{xy}{f} \right)^2 m_{\omega}^2 + y^2 m_{\kappa}^2 \\ m_{y_t}^2 &= \left(\frac{xy}{f} \right)^2 m_{\alpha}^2 + \left(f + \frac{y^2}{f} \right)^2 m_{\omega}^2 + x^2 m_{\kappa}^2 \end{aligned} \right\}.$$

З умови задачі $m_{\alpha} = m_{\omega} = m_{\kappa} = 3'$. Тоді

$$m_{x_t} = m_{\alpha} \sqrt{\left(f + \frac{x^2}{f} \right)^2 + \left(\frac{xy}{f} \right)^2 + y^2} = \frac{3'}{3438} \cdot \sqrt{149^2 + 49^2 + 70^2} =$$

$$= 0,0087 \cdot 171,76 = 0,149 \text{ мм.}$$

$$m_{y_t} = 0,15 \text{ мм.}$$

Таким чином, формули (9) використовуються для підрахунку точності аналітичного трансформування знімків, коли відомі середні квадратичні помилки елементів вихідної інформації.

Дуже часто виникає обернена задача: задається точність визначення трансформованих координат (тобто значення m_{x_t}, m_{y_t}) і потрібно знайти необхідну точність вихідної інформації (тобто значення $m_x, m_y, m_{\alpha}, m_{\omega}, m_{\kappa}, m_f$).

Для рішення цієї задачі використовуємо принцип "рівних впливів": кожен член суми (9) однаково впливає на величину $m_{x_t} (m_{y_t})$. Тому що в сумі для m_{x_t} п'ять членів, то будемо мати:

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_{x_t}^2}{5} &= m_x^2, & \frac{m_{x_t}^2}{5} &= \left(f + \frac{x^2}{f}\right)^2 m_\alpha^2 \\ \frac{m_{x_t}^2}{5} &= \left(\frac{xy}{f}\right)^2 m_\omega^2 & \frac{m_{x_t}^2}{5} &= y^2 m_\kappa^2 \\ \frac{m_{x_t}^2}{5} &= \left(\left(1 - \frac{x^2}{f^2}\right)\alpha - \frac{xy}{f^2}\omega\right)^2 m_f^2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Звідки отримаємо

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \frac{m_{x_t}}{\sqrt{5}} & m_\alpha &= \frac{m_{x_t}}{\sqrt{5}} \frac{1}{\left(f + \frac{x^2}{f}\right)} \\ m_\omega &= \frac{m_{x_t}}{\sqrt{5}} \frac{f}{xy} & m_\kappa &= \frac{m_{x_t}}{\sqrt{5} \cdot y} \\ m_f &= \frac{m_{x_t}}{\sqrt{5}} \frac{1}{\left(\left(1 - \frac{x^2}{f^2}\right)\alpha - \frac{xy}{f^2}\omega\right)} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Задача 4.

Потрібно здійснити аналітичне трансформування координат точок знімка з точністю 0,1 мм. З якою точністю необхідно знати вихідну інформацію?
 $x = y = 70\text{мм}$, $f = 70\text{мм}$.

Розв'язок.

Прорахунок виконуємо за формулами (11).

- 1) середня квадратична помилка вимірювань координат точок похилого знімка повинна бути рівною:

$$m_x = \frac{m_{x_t}}{\sqrt{5}} = \frac{0.1}{\sqrt{5}} \text{мм} = 0,04\text{мм}.$$

- 2) середні квадратичні помилки визначення кутів α, ω, κ при трансформуванні знімків повинні бути рівними:

$$m_\alpha = \frac{0.1}{\sqrt{5}} \cdot \frac{1}{140} \cdot 3438' = 1,1';$$

$$m_\omega = \frac{0.1}{\sqrt{5}} \cdot \frac{70}{70^2} \cdot 3438' = 2,2';$$

$$m_{\kappa} = \frac{0.1}{\sqrt{5}} \cdot \frac{1}{70} \cdot 3438' = 2,2'.$$

3) середня квадратична помилка визначення величини f при $\alpha = \omega = \kappa = 3^\circ$ повинна бути рівною

$$m_f = \frac{0.1}{\sqrt{5}} \cdot \frac{f^2}{(f^2 - x^2)\alpha - xy\omega} = \frac{0.1}{\sqrt{5}} \cdot \frac{70^2 \cdot 57.3^\circ}{70^2 \cdot 3^\circ} = 0,85 \text{ мм.}$$

III. Вихідні лані та прилади

Вихідною інформацією служать:

- координати точок похилого знімка;
- елементи внутрішнього та зовнішнього орієнтування знімка.

Для виконання лабораторної роботи необхідно мати:

- плановий аерознімок;
- калькулятор;
- вимірювальні лінійки;
- вимірники.

IV. Зміст та послідовність виконання лабораторної роботи

1. Виміряти на аерознімку координати 4-х довільних точок.
2. Обчислити трансформовані координати 4-х точок похилого знімка.
3. Підрахувати точність трансформування при заданих значеннях середніх квадратичних помилок вихідної інформації тобто ($f = 70 \text{ мм}$, $m_{\alpha} = m_{\omega} = m_{\kappa} = 2'$).

Список рекомендованих джерел

1. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія та дистанційне зондування: підручник, книга 1. Львів: Львівська політехніка, 2019. 176 с.
2. Дорожинський О.Л. Основи фотограмметрії: підручник. Львів: Львівська політехніка, 2003. 214 с.
3. Посібник для роботи на цифровій фотограмметричній станції «Дельта» : Вінниця, 2000. 40 с.
4. Дорожинський О.Л., Тукай Р. Фотограмметрія: підручник. Львів: Львівська політехніка, 2008. 332 с.
5. Фотограмметрія: конспект лекцій для бакалаврів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 100 с
6. Kraus, K. Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans. Walter de Gruyter. 2007. 269 p.
7. Wolf, P. R., Dewitt, B. A. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS (3rd ed.). McGraw-Hill. 2000. 807 p
8. Mikhail, E. M., Bethel, J. S., McGlone, J. C.. Introduction to Modern Photogrammetry. Wiley. 2001. 496 p

Навчально-методичне видання

Уль Анна Володимирівна
Іванчук Олег Михайлович
Вакулюк Лариса Адамівна

«Фотограмметрія та дистанційне зондування»

Видання друкується в авторській редакції