

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова

В. А. ТОЛСТОХАТЬКО, В. О. ПЕНЬКОВ

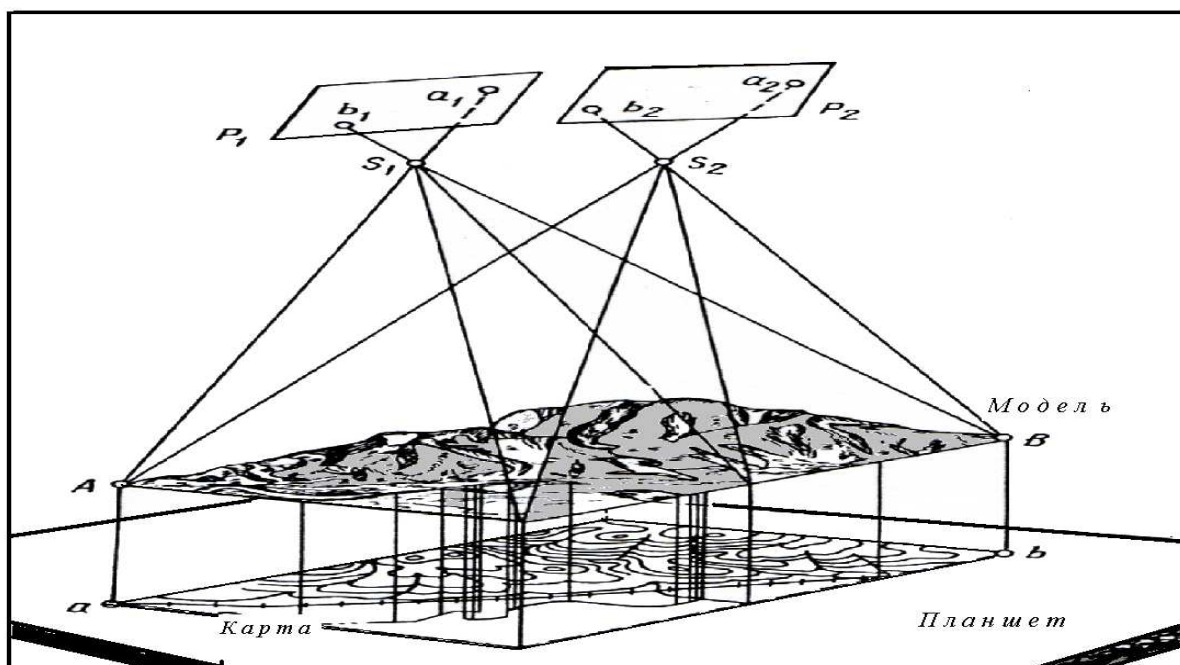
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з курсу

ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ

Модуль 1: «Фотограмметрія»

(для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання
напряму підготовки 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій»)



Харків
ХНУМГ
2013

Толстохатко В. А. Конспект лекцій з курсу «Фотограмметрія та дистанційне зондування». Модуль 1: «Фотограмметрія» для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій» / В. А. Толстохатко, В. О. Пеньков; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва імені О. М. Бекетова. – Х.: ХНУМГ, 2013. – 91 с.

Автори: проф. В. А. Толстохатко, доц. В. О. Пеньков

Рецензент: проф., к. т. н. В. Д. Шипулін

Рекомендовано кафедрою геоінформаційних систем та геодезії
протокол № 5 від 21 грудня 2011р.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. ФОТОГРАММЕТРИЧНА ОБРОБКА ОДИНОЧНОГО ЗНІМКА.....	6
1.1. Загальні відомості з фотограмметрії і аерокосмічних знімачів землі.....	6
1.1.1. Предмет фотограмметрії, її задачі та зв'язок з іншими дисциплінами.....	6
1.1.2. Короткі відомості з історії розвитку фотограмметрії.....	8
1.2. Основи теорії центрального проектування.....	10
1.2.1. Основні положення теорії центрального проектування, властивості перспективних зображень.....	10
1.2.2. Основні елементи центральної проекції	13
1.2.3. Побудова перспектив точки, горизонтальних і прямовисних прямих ліній.....	15
1.3. Основи фотографії. Фотографічні системи і процеси.....	17
1.3.1. Фототопографічні знімання, їх класифікація.....	17
1.3.2. Принципова схема і технічні характеристики АФА.....	18
1.3.2. Фотографічні матеріали.....	22
1.3.3. Основні властивості фотоматеріалів.....	23
1.3.4. Фотографічне знімання. Етапи отримання фотознімків.....	24
1.4. Аерофотознімальні роботи.....	25
1.4.1. Методи визначення форм, розмірів і положення об'єктів із застосуванням фототопографічного знімання.....	25
1.4.2. Види аерофотознімання і знімальний процес, основні технічні вимоги до топографічного аерофотознімання.....	26
1.5. Теорія одиночного аерофотознімка та геометричні властивості знімка.....	28
1.5.1. Системи координат у фотограмметрії.....	28
1.5.2. Елементи внутрішнього і зовнішнього орієнтування знімків	30
1.5.3. Перетворення координат у просторі через направляючі косинуси.....	32
1.5.4. Залежності між координатами точок місцевості і знімків.....	35
1.5.5. Зсув точок на аерознімку через його нахил.....	37
1.5.6. Зсув точок на аерознімку через вплив рельєфу місцевості....	40
1.6. Масштаби зображення на аерознімку.....	42
1.7. Фотосхеми.....	44
1.7.1. Поняття щодо фотосхем та їх використання.....	44
1.7.2. Методика виготовлення одномаршрутної фотосхеми за контурами.....	46
1.7.3. Контроль і оцінка точності монтажу фотосхеми.....	48
1.7.4. Визначення масштабу і оформлення фотосхеми.....	49

2. ОБРОБКА БЛОКУ ТА СТЕРЕОПАРИ ЗНІМКІВ.....	50
2.1. Стереоскопічний зір, вимірювання знімків і моделі.....	50
2.1.1. Основи стереоскопічного зору.....	50
2.1.2. Стереоскопічний ефект. Прості стереоприлади.....	54
2.1.3. Стереоскопічне вимірювання знімків. Параллаксометр і стереокомпаратор.....	57
2.1.4. Елементи орієнтування пари знімків і геометричної моделі об'єкта.....	60
2.1.5. Визначення просторових координат точки об'єкта за відомих координат зображень цієї точки на двох знімках.....	64
2.2. Трансформування фотознімків.....	65
2.2.1. Призначення і суть способів трансформування знімків.....	65
2.2.2. Фотоплани.....	66
2.3. Дешифрування знімків.....	67
2.3.1. Поняття про дешифрування.....	67
2.3.2. Дешифрувальні ознаки.....	69
2.4. Методи і засоби наземної фотограмметрії.....	72
2.4.1. Наземна стереозйомка.....	72
2.4.2. Основні види наземної стереофотограмметричної зйомки....	76
2.4.3. Устаткування для наземного фотографування.....	77
2.5. Фотограмметричні технології зйомки ситуації і рельєфу при створенні карт і планів.....	78
2.5.1. Вибір фотограмметричного способу зйомки.....	78
2.5.2. Універсальний метод створення карт і планів.....	79
2.5.3. Технологія створення карт і планів на ЦФС.....	84
2.5.4. Знімання ситуації за допомогою фотопланів.....	85
2.6. Технологія оновлення топографічних карт і планів.....	86
2.6.1. Загальні положення.....	86
2.6.2. Оновлення карт за матеріалами аерофотознімання.....	87
2.6.3. Цифрові технології оновлення карт по аерознімках.....	88
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	91

ВСТУП

На XVI Конгресі Міжнародного товариства з фотограмметрії та дистанційного зондування (ISPRS) дано таке визначення цим науковим дисциплінам: *це галузь технічних наук, яка займається отриманням достовірної інформації про фізичні об'єкти та їхнє оточення за допомогою реєстрації, вимірювання та інтерпретації образів або цифрових образів, одержаних за допомогою сенсорів, які не контактують безпосередньо з цими об'єктами.*

У даному конспекті лекцій розглядається фотограмметрія, як наукова дисципліна, що тісно пов'язана з іншими галузями знань. Цей зв'язок має як теоретичну, так і технічну компоненту. Саму фотограмметрію поділено на теоретичну і практичну.

Теоретична фотограмметрія формується у вигляді сукупності ідеологічних підходів (аналогова, аналітична або цифрова) та відповідних математичних моделей, а практична фотограмметрія, ґрунтуючись на відповідних теоретичних засадах, скерована на отримання кінцевого продукту із застосуванням конкретних технологій. Така схема відтворює як попередній стан фотограмметрії, так і її сьогодення.

У конспекті розглянуті дві загальні теми фотограмметрії. Перша присвячена теоретичним і практичним питанням фотограмметричної обробки одиночного знімку. У другій темі розглянуті принципи і методи обробки блоку та стереопари знімків.

1. ФОТОГРАММЕТРИЧНА ОБРОБКА ОДИНОЧНОГО ЗНІМКА

1.1. Загальні відомості з фотограмметрії і аерокосмічних зніманих Землі

1.1.1. Предмет фотограмметрії, її задачі та зв'язок з іншими дисциплінами

Фотограмметрія – наукова дисципліна, яка вивчає форми, розміри і положення об'єктів за їх *фотографічними* зображеннями. Термін "фотограмметрія" походить від грецьких слів: *photos* – світло, *gramma* – запис і *metreo* – вимірювання, тобто – вимірювання світлозапису.

Предметом фотограмметрії є вивчення властивостей фотозображення, методів його отримання і вимірювання, розробка приладів для вимірювання і перетворення фотозображень.

Найбільш широке застосування фотограмметрія має в геодезії і топографії при картографуванні земної поверхні, а також у космічних дослідженнях.

Аерокосмічні знімання дають можливість одержати необхідну інформацію в короткий термін. Так, знімки поверхні земної кулі за допомогою штучних супутників Землі можна отримати за декілька діб.

У будівництві методами фотограмметрії виконують контрольні вимірювання при зведенні будівель і споруд, а також визначають величини деформацій споруд у процесі їх експлуатації.

В архітектурі фотограмметрія застосовується з метою вивчення і реставрації будівель в першу чергу тих, які мають історичне значення.

За знімками, одержаними за допомогою мікроскопа, можна визначити розміри, форму та інші характеристики об'єктів мікросвіту.

У військовій справі на фотознімках визначають координати орієнтирів і цілей, рубежі розташування військ та їх переміщення.

Аерокосмічні знімання дають можливість досліджувати діяльність вулканів, а також катастрофічні явища природи.

Широке застосування фотограмметрії для вирішення різноманітних задач пов'язане з високою точністю вимірювань зображень об'єктів на фотознімках і використанням швидкодіючих ЕОМ.

Об'єкти, що досліджуються, вивчаються безконтактним (дистанційним) методом, який має особливе значення в умовах, коли вони можуть бути недосяжні для безпосередніх вимірювань або знаходяться в місцях, небезпечних для людини.

Фотограмметрія має безпосередні зв'язки з математикою, фізикою, хімією, геодезією, картографією та іншими дисциплінами, а також точним приладобудуванням, радіоелектронікою, авіацією і космонавтикою.

Основою теорії фотограмметрії є математика, геодезія забезпечує фотограмметрію координатами опорних точок, необхідних для згущення

геодезичних мереж при складанні топографічних карт і планів. Математична обробка результатів вимірювань фотознімків виконується на електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ), в зв'язку з чим фотограмметрія пов'язана з теорією ймовірностей і програмуванням. Для створення топографічних карт необхідне *дешифрування* знімків, яке ґрунтується на теорії розпізнавання образів.

Математичні методи

Математичну суть фотограмметрії становлять векторна алгебра та аналітична геометрія. Фундаментальними для аналітичної фотограмметрії (а вона є базою для цифрової фотограмметрії) є умова колінеарності та умова компланарності векторів.

Математичні методи, які застосовуються у фотограмметрії, традиційно можна поділити на дві групи:

- методи попереднього опрацювання зображень, отриманих за допомогою різних сенсорів;
- методи фотограмметричних побудов моделей досліджуваних об'єктів.

Попереднє опрацювання зображень має на меті усунення деформацій образу, що спричинені дією зовнішніх або внутрішніх чинників (рефракція атмосфери, дисторсія оптичної системи, деформація фотографічного матеріалу, похибки під час сканування фотографічного зображення тощо). Саме тоді вимірний образ (знімок) буде поданий у вигляді сукупності плоских прямокутних координат (x, y) , які з найбільшою ймовірністю відповідали б їхнім істинним значенням (x°, y°) . Інша задача попереднього оброблення зображень стосується покращання якості зображення (контраст, оптична щільність, кольорова гама тощо - все це в сукупності називають радіометричними характеристиками), а також, у разі необхідності, їхнього компактного (ущільненого) запису, оскільки обсяг інформації навіть для одного цифрового знімка є доволі великим.

Методи фотограмметричних побудов – це класичні задачі аналітичної фотограмметрії:

- визначення просторових координат точок об'єкта з поодинокого знімка та стереопари;
- перехід від нахилоного знімка до горизонтального у заданому масштабі (трансформування поодинокого знімка);
- пряма та обернена фотограмметричні засічки;
- взаємне орієнтування пари знімків;
- зовнішнє (абсолютне) орієнтування фотограмметричної моделі об'єкта;
- побудова опорних мереж способами фототріангуляції;
- цифрове ортофототрансформування (створення цифрових ортофотокарт);
- побудова цифрових моделей об'єктів, цифрових моделей рельєфу місцевості;
- деякі інші.

Усі ці задачі достатньо опрацьовані і становлять базу аналітичної фотограмметрії.

1.1.2. Короткі відомості з історії розвитку фотограмметрії

Фотограмметрія як наука виникла з середини XIX ст. у зв'язку з винаходом *фотографії*. Теоретичні основи використання перспективних зображень для складання топографічних карт було закладено значно раніше.

В 1759 році І.О. Ламбертом в роботі "Вільна перспектива" дано обґрунтування можливості визначення форми, розмірів і просторового положення об'єкта за його перспективним зображенням.

В 1839 році французький вчений Ж.М. Дагер для фіксації зображення, одержаного за допомогою камери-обскури на металевій пластинці, використав світлочутливе срібло, що дало можливість отримати позитивне фотографічне зображення. Такий спосіб, названий дагеротипією, знайшов широке застосування.

В 1860 році французький інженер Е. Лосседа з високої будівлі виконав фотографування Парижа і по фотознімках склав план, точність якого виявилась вищою за план, що одержано за допомогою геодезичних приладів.

Піонером аерофотозйомки у Росії є А.М. Кованько, який 18 травня 1886 року з повітряної кулі виконував фотографування р. Неви. Сприятливі можливості для розвитку фотограмметрії склались в 20-ті роки минулого століття.

В 1925 році при товариствах «Добролёт» «Укрвоздухопуть» були створені виробничі підрозділи аерофотознімання.

У 1929 році був створений науково-дослідний інститут з аерофотознімання, який згодом став Центральним НДІ геодезії, аерофотознімання і картографії (ЦНДІГАіК) у Москві.

Великий науковий внесок в розвиток теорії фотограмметрії зробили професори М.Г. Келль, М.Д. Кошин, Г.П. Жуков, Г.В. Романовський, М.О. Урмаєв, О.С. Скірідов та ін. У передвоєнні роки широко застосовувався комбінований метод фототопографічної зйомки і метод стерео топографії.

Для цих методів Ф.В. Дробишев розробив стереометр який дає можливість зображення рельєфу у вигляді горизонталей на нетрансформованих знімках.

У повоєнні роки значний внесок в розвиток аналітичних методів обробки аерофотознімків зробили О.М. Лобанов, П.П. Лисенко, І.Т. Антипов, В.Я. Фінковський та ін. Були створені стерео-прилади, для обробки знімків з перетвореними зв'язками проєктуючих променів (стереопроектор Г.В. Романовського і стереограф Ф.В. Дробишева). Під керівництвом М.М. Русинова були створені короткофокусні аерофотооб'єктиви і на їх основі – високоякісні досконалі аерофотоапарати.

Новітні досягнення науки, техніки і технології, які в останні десятиріччя прийшли в науки про Землю, суттєво вплинули на розвиток фотограмметрії. Найбільший вплив мають:

- розвиток космічної техніки і технологій, використання для потреб геодезії супутникових навігаційних систем; – розвиток електронно-обчислювальної техніки, в тому числі поява потужних персональних комп'ютерів ;

- розвиток мікроелектроніки і розробка нових типів сенсорів, здатних фіксувати електромагнітне випромінювання з високими геометричними і радіометричними параметрами;

- розвиток лазерної та оптико-електронної техніки, радіотехнічних способів дистанційного вивчення різноманітних об'єктів, в тому числі земної поверхні;

- розвиток геоінформаційних технологій, в яких найновіші можливості всіх вище перелічених науково-технічних досягнень спроектовані на ідеологічну платформу геоінформатики, що об'єднує тематичні відомості та знання, здобуті з різних наукових дисциплін про Землю.

На сучасному етапі фотограмметристами розв'язуються нові завдання: автоматизація стереофотограмметричних вимірювань і розробка відповідних автоматичних приладів, створення цифрової фотограмметрії з використанням ЕОМ і геоінформаційних технологій, створення алгоритмів і програм для автоматичного дешифрування фотозображень та інші.

Сучасні технічні і технологічні можливості фотограмметрії в Україні дозволяють повністю переорієнтуватись на геоінформаційні технології і цифрову фотограмметрію. Значна роль фотограмметричними методами належить у створенні ринку землі і нерухомості.

У містобудуванні та сфері управління міським господарством просторове моделювання на базі аерокосмічного знімання дозволить фахівцям приймати в короткі терміни оптимальні управлінські рішення. Використання фотограмметрії разом з ГІС-технологіями та просторовим моделюванням для архівації пам'яток архітектури в археології створюють нові можливості для пошукових, наукових та проектних робіт.

Важливою сферою застосування фотограмметрії є аерокосмічний дистанційний моніторинг екологічної ситуації та безпеки життєдіяльності в окремих регіонах. Великі можливості інженерно-фотограмметричний моніторинг має при постійному контролі за станом трубопроводів, ЛЕП, залізниць, автомобільних доріг. Велика увага приділяється розвитку фотограмметрії і дистанційному зондуванню Землі для вивчення природних ресурсів, прогнозу погоди, картографування шельфової зони морів і океанів.

В Україні діють київська, львівська, донецька школи фотограмметристів, які успішно розв'язують велику кількість наукових і практичних задач для потреб різних галузей та проводять і підготовку спеціалістів.

1.2. Основи теорії центрального проектування.

1.2.1. Основні положення теорії центрального проектування, властивості перспективних зображень

Зображення місцевості на знімках будується прямолінійними проектуючими променями, що направлені від точок місцевості A, B, C до центру проекції S (рис. 1.1).

Площина проекції P , яка розміщена за центром проектування, називається площиною негатива або негативом. Точки a, b, c є слідами перетину проектуючих променів AS, BS, CS з площиною негатива P_n і відповідно центральними проекціями точок місцевості A, B, C .

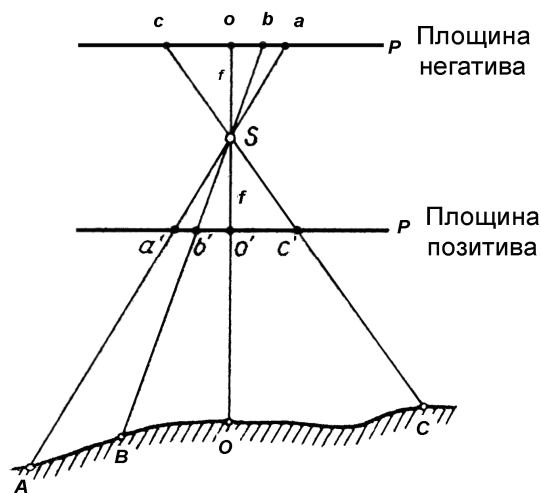


Рис. 1.1 – Фотознімок – центральна проекція точок місцевості

Таку ж центральну проекцію можна побудувати, якщо площину проекції помістити паралельно площині P_n між предметом зйомки (місцевістю) і центром проекції S на відстані $So' = So$. Площина P_n називається *площиною позитива* або просто позитивом.

Точки a', b', c' – сліди перетину проектуючих променів з площиною позитива також є центральними проекціями точок A, B, C місцевості. Головні точки o і o' – це основи перпендикулярів, проведених із центра проекції S до площин P_n і P_n .

Відрізок $So' = So$ називається *фокусною відстанню АФА* і позначається f . Із умови взаємного розміщення площин P_n і P_n , видно, що негативне і позитивне зображення конгруентні, тобто при накладенні вони збігаються і різняться між собою тільки зворотнім розташуванням.

Позитиви відповідають контактним відбиткам і більш чітко відображують взаємне розміщення частин натури в порівнянні з негативом.

Проекцією називається зображення предметів на площині (в загальному випадку – на поверхні), побудоване за визначеними математичними законами.

Так, зображення місцевості на топографічних планах будується в ортогональній проекції на горизонтальну площину. Проектування точок місцевості здійснюється прямовисними проектуючими променями. Зображення місцевості одержують в заданому масштабі із збереженням подібності контурів. Аби використати знімки для складання топографічних планів, необхідно встановити відмінність між центральною і ортогональною проекціями, вивчити властивості центральної проекції і знайти способи перетворення її в ортогональну проекцію. З цього складаються основні геометричні задачі фотограмметрії в застосуванні її до топографії.

Відмінність між центральною і ортогональною проекціями показано на рис. 1.2. З рисунку видно, що P – горизонтальна площина проекції; S – центр проєкцій, a, b, c – центральні проєкції точок A, B, C місцевості, a_o, b_o, c_o – ортогональні проєкції цих точок. З перенесенням площини проекції в положення P' змінюється взаємне розміщення центральних проєкцій a', b', c' .

В ортогональній проекції для точок a_o, b_o, c_o цього не відбудеться, бо проектуючі промені *паралельні* один одному.

Якщо центр проєкції S нескінченно віддалений від горизонтальної площини проекції P , то центральна проєкція точок місцевості перетвориться в ортогональну. Але такий перехід за допомогою процесу фотографії фізично не здійснений.

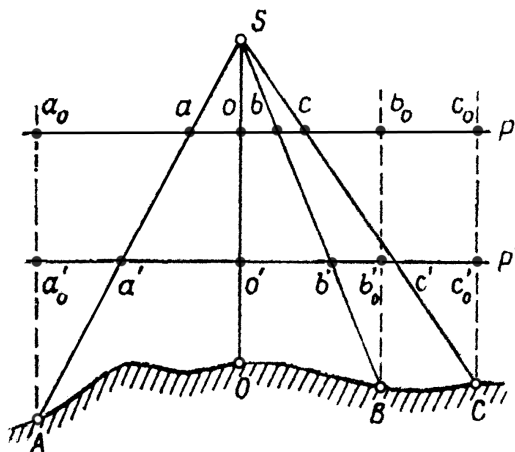


Рис. 1.2 – Побудова точок в центральній і ортогональній проекціях

Основні властивості перспективних зображень.

1. Кожна точка місцевості зображується на площині проєкції (фотознімка) P точкою. Це видно з рис. 1.3. У зв'язку з тим, що у прямої SA , де точка A належить до площини предмета T , в площині фотознімка P може бути тільки одна точка – точка їх перетину a .

2. Кожна пряма, якщо вона не проходить через центр проєкції, зображується в площині проєкції P прямою.

Через пряму BC (рис. 1.3) і центр проєкції S можна провести площину, в якій будуть знаходитись проектуючі промені BS і CS . Перетином цієї площини з площиною P буде пряма bc .

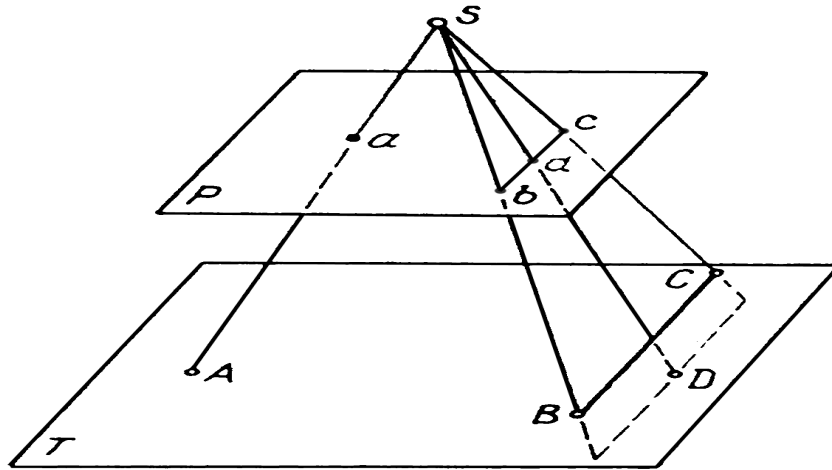


Рис. 1.3 – Перспективне зображення точки і прямої

Площина, яка проходить через центр проєкції, називається *проектуючою площиною*.

3. Точки простору B, C, D , які не знаходяться на одній прямій, але належить до однієї проєктуючої площини, зображуються в площині знімка на одній прямій bc (рис. 1.3).

4. Зображенням нескінченно віддалених точок місцевості на знімку P є *точка сходу i* .

На рис 1.4 сімейство прямих, розміщених у просторі під кутом до площини фотознімка P . Лінії AB і CD – відрізки на прямих. Чим далі розміщена точка на прямій (напр., точка G), тим більш гострий кут утворює проєктуючий промінь SG з променем Si . При нескінченному віддаленні точки G ці промені практично збігаються.

Це справедливо для будь-якої прямої із сімейства паралельних прямих. Отже, їх перспективні зображення мають одну спільну точку сходу i , яка є точкою перетину з площиною фотознімка проєктуючого променя, проведеного із центра проєкції паралельно даним прямим.

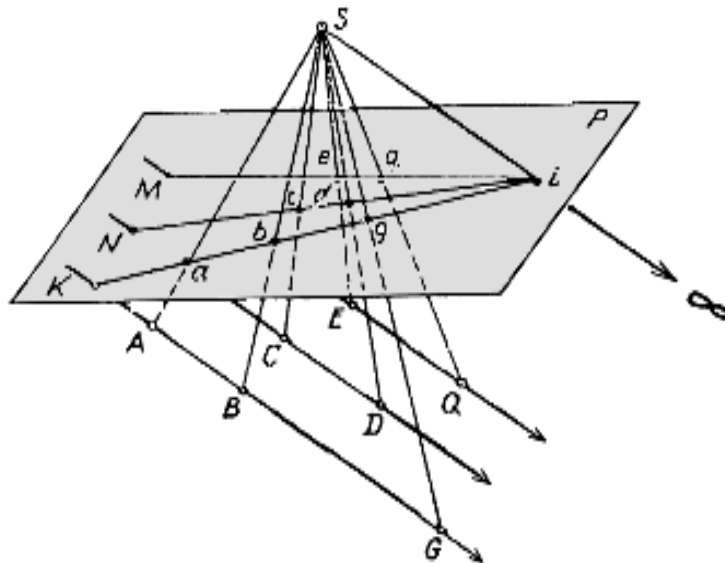


Рис. 1.4 – Перспективне зображення паралельних прямих

Проектуючий промінь So , який перпендикулярний до площини знімка, називається *головним променем*. Він повинен збігатися з оптичною віссю об'єктива АФА.

Точка o перетину головного променя з площиною знімка називається *головною точкою*.

Кут між напрямом головного променя So і прямовисною лінією SN дорівнює куту нахилу знімка α_0 . Якщо $\alpha_0 = 0^\circ$, то площина знімка P горизонтальна.

Відстань So від центра проєкції до площини знімка позначається через f і називається *фокусною відстанню* фотокамери.

Точка n перетину прямовисного проектуючого променя SN з площиною знімка називається *точкою надіра*.

Вона є зображенням точки місцевості N , яка в момент фотографування знаходилась на прямовисній лінії з передньою вузловою точкою об'єктива АФА.

Точка s – точка нульових спотворень знаходиться на перетині бісектриси кута α_0 з площиною знімка.

Вертикальна площина Q , яка проходить через головний промінь So і прямовисний промінь SN , називається *площиною головного вертикала*.

Перетин площини Q з площиною P , який позначено лінією vv' , називається *головною вертикаллю знімка*.

Лінія VV' – перетин площин Q і T – лінія напрямку знімання.

Горизонтальний проектуючий промінь, який знаходиться в площині головного вертикала Q перетинає площину P в головній точці сходу I .

Всі чотири точки I , o , s та n нахилоного знімка розміщені на його головній вертикалі.

Лінії $h_i h_i$, qq , які розміщені в площині P перпендикулярно до головної вертикалі, називаються *горизонталями фотознімка*.

Лінія tt' перетину предметної і картинної площин називається *лінією основи картини*.

Лінія $h_i h_i$ є лінією дійсного горизонту. На цій лінії розміщуються зображення нескінченно віддалених точок місцевості.

Лінія qq – горизонталь, яка проходить через головну точку знімка, називається *головною горизонталлю*.

Горизонталь, яка проходить через точку s , є лінією *неспотвореного масштабу*. При перетині вздовж цієї лінії площин нахилоного і горизонтального знімків масштаб зображення на обох знімках буде однаковим.

Із трикутників $So n$ і $So I$ можна визначити відстані між важливими елементами центральної проєкції за формулами:

$$\begin{aligned}on &= -f \cdot \operatorname{tg} \alpha_0; & oc &= -f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}; \\oI &= f \cdot \operatorname{ctg} \alpha_0; & SI &= f / \sin \alpha_0.\end{aligned}$$

Знак "-" вказує, що позитивний напрям осі – вздовж головної вертикалі від точки o до I .

Точка C в предметній площині відповідає точці нульових спотворень c , точка N – відповідає точці надіра n фотознімка.

1.2.3. Побудова перспектив точки, горизонтальних і прямовисних прямих ліній

Перспектива точки. На предметній площині T є точка A . Необхідно знайти її перспективне положення в площині знімка P . Одночасно побудуємо зображення на фотознімку P відрізків ліній в площині основи, паралельних напрямку знімання,.

На рис. 1.6 відрізки AA_1 і BB_1 паралельні напрямку VV' .

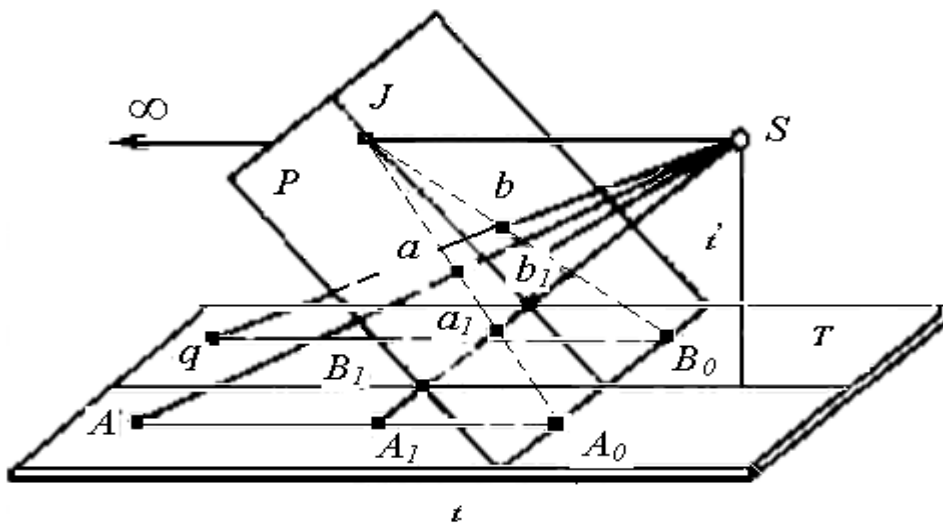


Рис. 1.6 – Зображення на площині P перспектив точок і відрізків паралельних прямих

Провівши через центр проєкції S горизонтальний промінь в площині Q , в площині знімка P одержують точку сходу I . Опустивши з точок A і B на вісь перспективи tt' перпендикуляри, одержують точки A_0, B_0 . З'єднані точки A_0 і B_0 з точкою сходу I . З точок A, A_1, B, B_1 промені йдуть на точку S . Перетин цих проєктуючих променів з лініями IA_0, IB_0 дає на площині P перспективне зображення точок a, a_1, b, b_1 і відповідно відрізків aa_1 та bb_1 .

Перспектива горизонтального відрізка прямої, яка складає кут з напрямком знімання VV' . В предметній площині T маємо горизонтальний відрізок AA_1 (рис. 1.7). Необхідно знайти його перспективне зображення в площині P . Продовжують відрізок AA_1 до перетину з віссю tt' , на якій одержано точку A_0 . З центра проєкції S проводять промінь паралельно відрізку AA_1 і на осі дійсного горизонту одержують точку i . Промінь iA_0 є напрямком перспективи відрізка AA_1 в площині P . Перетин iA_0 з променями SA і SA_1 дає перспективне зображення aa_1 заданого відрізка.

Віддалення точки i від головної точки сходу I можна обчислити за формулою

$$li = f \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \alpha_0}$$

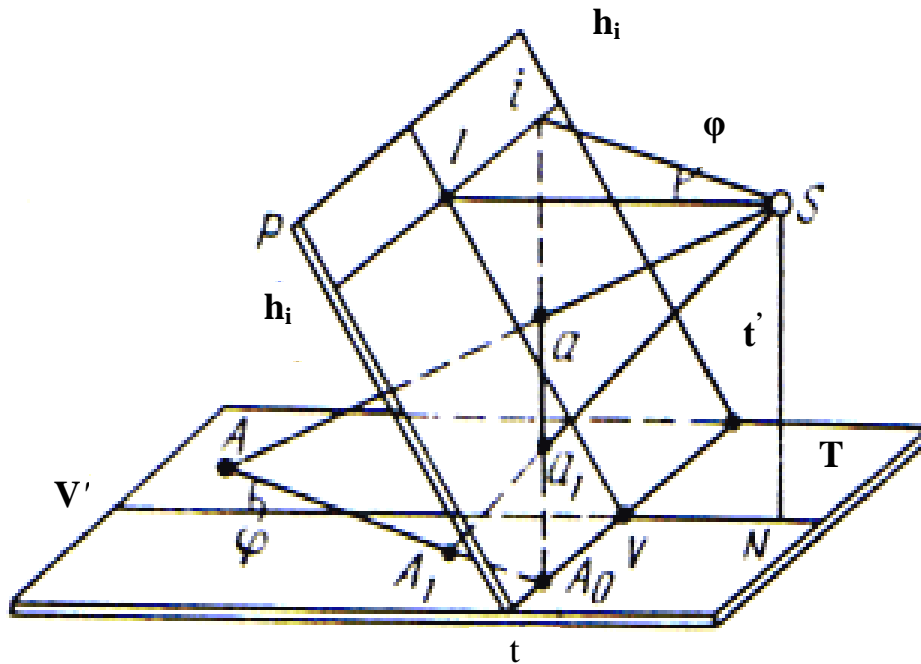


Рис. 1.7 – Зображення на площині P прямої, яка складає кут φ з напрямом знімання VV'

На рис. 1.8 показано перспективне зображення відрізка прямої в предметній площині T , перпендикулярного до напрямку VV' .

Відрізок aa_1 на площині P перпендикулярний до головної вертикалі знімка.

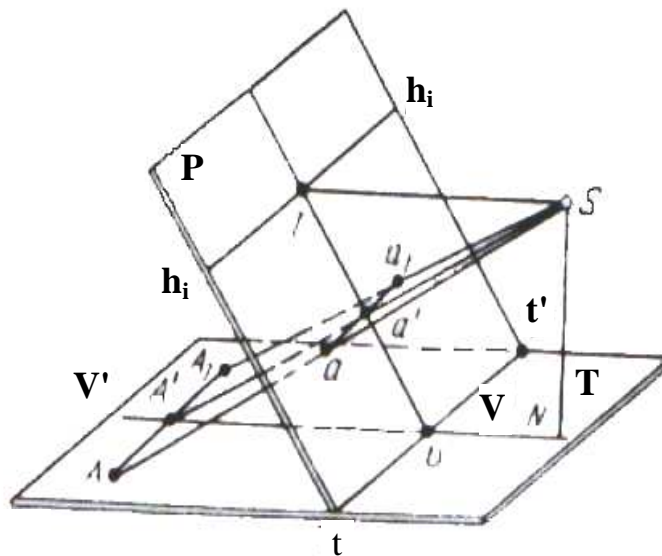


Рис. 1.8 – Зображення на площині P відрізка прямої, яка перпендикулярна до напрямку знімання

Перспектива прямої лінії. Прямокутна лінія AB перпендикулярна до предметної площини T . Для заходження її перспективного зображення в площині аерофотознімки проводять промінь SN паралельно лінії AB і через ці дві лінії – площину Q (рис. 1.9). Вертикальна площина Q перетне предметну площину T по лінії BN і на осі перспективи tt' дасть точку l .

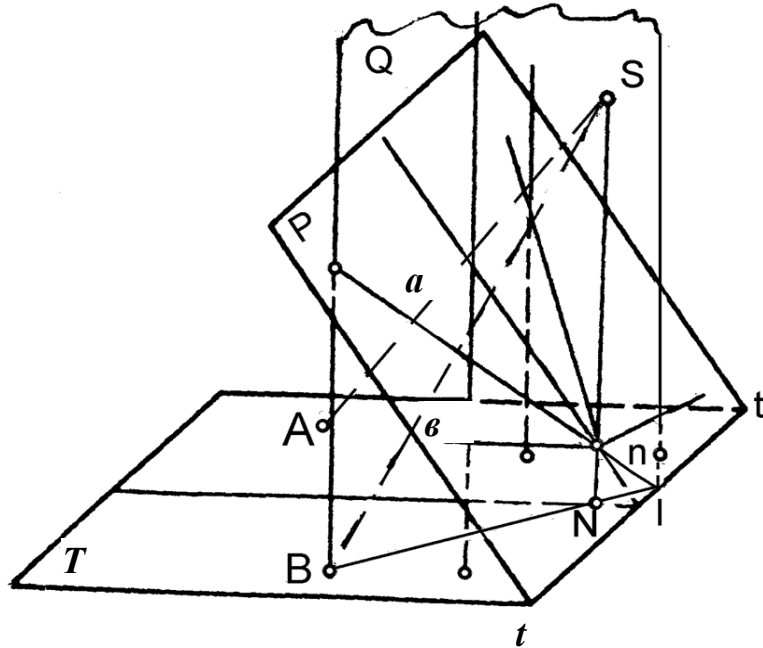


Рис. 1.9 – Перспективні зображення прямокутних прямих

Точкою сходу зображення на площині знімка P вертикальних прямих служить точка надіра n . У зв'язку з тим, що точки l і n розміщені в площині P , шуканий відрізок av буде знаходитись на лінії ln . Перетин променів SA і SB з прямою ln дає зображення відрізка av .

Довжина відрізка av відповідає перевищенню між точками земної поверхні. Ця його властивість використовується при розв'язуванні задач на аерофотознімках.

1.3. Основи фотографії. Фотографічні системи і процеси

1.3.1. Фототопографічні знімання, їх класифікація

Фототопографічним зніманням називається комплекс процесів, які виконуються для створення топографічних карт і планів, з використанням фотоматеріалів, обладнання і спеціальних транспортних засобів.

Такими процесами є:

- фотографування місцевості;
- польові геодезичні роботи;
- камеральні фотограмметричні роботи.

У залежності від технічних засобів, що застосовуються для фотографування земної поверхні, розрізняють чотири види фототопографічного знімання:

- 1) аерофотопографічне;
- 2) наземне фототопографічне знімання;
- 3) комбіноване знімання;
- 4) космічне знімання.

Аерофотознімання передбачає фотографування місцевості аерофотоапаратом (АФА), який встановлено на літаку або вертольоті.

Наземне фототопографічне знімання засновано на фотографуванні місцевості фототеодолітом з пунктів зйомочної основи на земній поверхні. Його часто називають фототеодолітним зніманням.

Комбіноване знімання поєднує фототеодолітне знімання з аерофотопографічним. При цьому місцевість фотографують двічі: фототеодолітом з наземних станцій і АФА – з літака. Використовуючи наземні знімки, згущують опорні мережі, а за аерофотознімками складають топографічні карти.

При топографічному аерофотозніманні крім фотознімального обладнання використовується ще й навігаційне. До аеронавігаційного обладнання відносяться автопілот, курсова система, висотомір і автомат програмного розвороту. Вони слугують для стабілізації заданого курсу, витримування розрахункових висоти польоту і положення літака під час польоту і заходу на маршрут. Автопілот і курсова система забезпечують прокладання фотознімальних маршрутів в заданому напрямі, висотомір контролює задану висоту аерофотознімання. Радіовисотомір визначає висоту фотографування за формулою

$$H = \frac{ct}{2},$$

де c – швидкість поширення радіохвиль;

t – відрізок часу проходження радіохвилею віддалі від літака до точки місцевості і в зворотному напрямі.

Показування висотоміра фіксуються на момент відкриття затвора АФА.

Для визначення перепадів висоти фотографування між двома суміжними експозиціями служить статоскоп, показання якого також фіксуються на момент фотографування місцевості.

1.3.2. Принципова схема і технічні характеристики АФА

У фотограмметрії зйомка виконується спеціальними приладами – аерофотоапаратами (АФА), або фототеодолітами

Усі фотографічні прилади розділяться на два види:

- а) працюючі на пластинках – фототеодоліти,
- б) працюючі на фотоплівках – АФА і не метричні фотокамери.

Фотоапарат є точним і складним оптико-механічним приладом, за

допомогою якого на світлочутливому матеріалі з'являється зображення фотографованого об'єкту.

Типи і конструкції сучасних АФА різноманітні, але вони в своїй основі мають одну принципову схему.

Основними частинами аерофотоапарата (рис. 1.10) є: корпус (1), конус (6), касета (2), командний прилад (3) і аерофотоустановка (5). У верхній частині корпусу знаходяться прикладна рамка, площина якої збігається з фокальною площиною об'єктива. У корпусі також розміщені лічильник кадрів, годинник, рівень, числовий індекс фокусної відстані об'єктива АФА і т. ін.

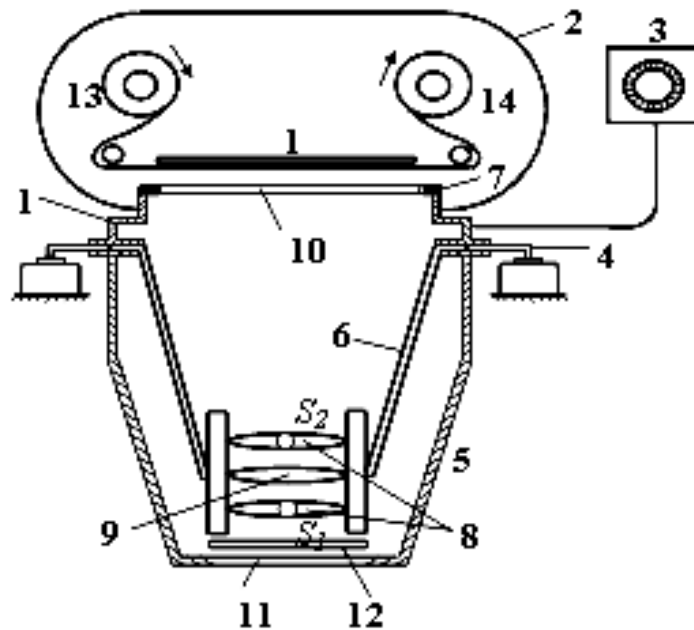


Рис. 1.10 – Схема АФА

До нижньої частини корпусу прикріплюється конус (6), в якому розміщені оптична схема (об'єктив, світлофільтр та інші деталі), затвор і механізм управління роботою затвору.

Касета (2) призначена для розміщення фотоплівки і приведення її в площину прикладної рамки під час експонування. Плівка перемотується з однієї котушки на другу на величину кадру і притискується до прикладної рамки вирівнюючим столом. Вирівнювання плівки здійснюється часто пневматично шляхом відкачування повітря між фотоплівкою і столом.

Командний прилад (3) забезпечує дистанційне керування механізмами АФА. Аерофотоустановка (5) призначена для прикріплення аерофотоапарата, орієнтування його в просторі і запобігання дії поштовхів та вібрацій.

Прикладна рамка має зубчаті виступи, які дають зображення координатних міток (рис. 1.11). Координатні мітки визначають систему координат $o'x$ знімка.

Пряма, що проходить через вузлову точку об'єктива S і перпендикулярна до площини прикладної рамки, називається оптичною віссю АФА або головним променем.

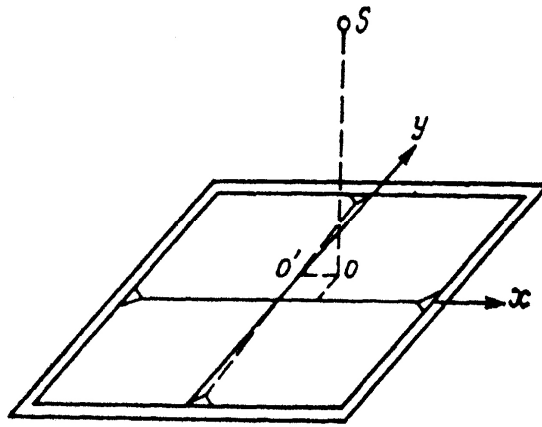


Рис. 1.11 – Прикладна рамка АФА

Перетин оптичної осі фотокамери з площиною прикладної рамки утворює головну точку o знімка.

Фотографічний об'єктив і його характеристики

Фотографічний знімок (аерознімок, аеронегатив), відповідно до законів геометрії, є перспективним зображенням, побудованим в центральній проекції, в якій все проміння світла, відображені від об'єкту зйомки, проходять через одну точку, звану центром проекції.

Фокусною відстанню об'єктиву (f) називається відстань між фокусом об'єктиву і його оптичним центром. Від фокусної відстані залежить масштаб зображення і ступінь освітленості світлочутливого шару.

За інших рівних умов *короткофокусні* об'єктиви дають *малий* масштаб зображення і великий ступінь освітленості шару, *Довгофокусні об'єктиви* - дають *великий* масштаб і *менший* ступінь освітленості. Фокусна відстань впливає на світлосилу, роздільну здатність, кут поля зору і зображення.

Світлосила - здатність об'єктиву давати на плівці зображення певного ступеню освітленості. Світлосилу визначають з відношення: $E = d / f$, де d - діаметр отвору об'єктиву, f - фокусна відстань.

Величина світлосили впливає на тривалість витримки при фотографуванні. Чим більше відношення діаметру отвору об'єктиву до фокусної відстані, тим світліше одержуване на плівці зображення. За наявності діафрагми частину об'єктиву можна закривати, змінюючи діаметр діючого отвору об'єктиву.

Роздільна здатність об'єктиву R - це здатність відтворювати роздільно зображення близько розташованих ліній. Визначається числом ліній мінімальної ширини (δ) роздільно видимих на одному міліметрі оптичного зображення: $R = 1/2\delta$.

Всі об'єктиви для аерознімання мають велику роздільну здатність в центрі і значно меншу до країв. Аерофотознімальний об'єктив "Руссар-68" з фокусною відстанню 350 мм має роздільну здатність 65-35 ліній на 1мм, а "Руссар-29" з фокусною відстанню 70 мм - 25-12 ліній.

Висока роздільна здатність об'єктиву дозволяє чітко передати на фотографії дрібні деталі об'єкту, що знімається, і зробити фотовідбитки великих розмірів без значної втрати різкості.

Сила освітленості зменшується до країв знімка. Коло, в межах якого різко видно фотографічне зображення, називається *полем зображення* (рис. 1.12).

По куту зору розрізняють об'єктиви:

- з малим кутом зору менше 45° ;
- нормальні – 45° - 75° ;
- ширококутні – 75° - 110° ;
- над ширококутні – 110° - 136° .

Для усунення крайнього проміння, яке спотворюється, і щоб об'єктив працював центральною частиною, застосовують *діафрагми*. Діафрагмування об'єктиву, дозволяє частково зменшити вплив аберації, зменшити діючий отвір об'єктиву, а отже, збільшити глибину різкості.

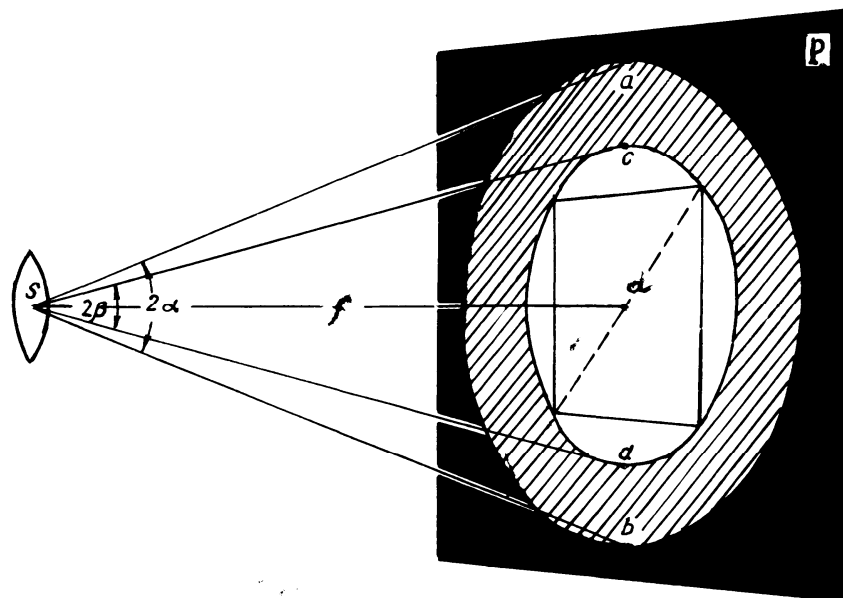


Рис. 1.12 – Поле зору і поле зображення: S – центр об'єктиву, f – фокусна відстань об'єктиву, 2α – кут зору, 2β – кут зображення, ab – поле зору, cd – поле зображення.

Затвор служить для припинення доступу проміння світла, через об'єктив. Найширше застосування у фотографії мають центральний і штормний затвори, коефіцієнт корисної дії яких до 90%.

Фактори, які впливають на якість зображення

Основними аберациями лінз є сферична аберация, кома, хроматична аберация, дисторсія і астигматизм.

Сферична аберация полягає в тому, що зв'язка променів, яка виходить з точки на осі лінзи, збирається не в одну точку, а зображає її плямою. Якщо точка лежить не на осі лінзи, то порушення симетрії зв'язки променів

приводить до того, що точка зображується у вигляді плями, яка нагадує кому, і цей вид аберації має назву кома.

Хроматична аберация обумовлена неоднаковим показником переломлення склом променів різного кольору, виявляється в тому, що точка зображується плямою, яка складається з різнобарвних кілець.

Дисторсія полягає в порушенні геометричної подібності предмета і зображення, обумовлена непостійністю збільшення для променів, які йдуть в об'єктив під різними кутами.

Астигматизм проявляється при одержанні зображення сітки квадратів і полягає в тому, що промені, які лежать у взаємно перпендикулярних площинах, збираються в різних точках. Це приводить до чіткого зображення тільки вертикальних або горизонтальних ліній сітки квадратів, а зображення точки в залежності від положення екрана може бути горизонтальним штрихом, або плямою, або вертикальним штрихом.

Під час виготовлення фотограмметричних об'єктивів всі види аберацій намагаються звести до мінімуму. Такі об'єктиви називаються анастигматами, і до них відносяться об'єктиви аерофотоапаратів і фототеодолітів.

Найбільш поширеними є аерофотокамери АФА-ТЕ (аерофотоапарат топографічний, електричний), об'єктиви яких мають фокусні відстані 55, 70, 100, 140, 200, 350 і 500 мм. Фотокамери АФА-ТЕС мають об'єктиви з $f = 50$ і 100 мм. Залишкова дисторсія об'єктивів (порушення геометричної подібності предмета і зображення) в середньому складає 20 мкм. Затвори забезпечують тривалість експозиції в межах $1/80 \div 1/1000$ с. Роздільна здатність аерофотознімків в центрі кадру в середньому складає $40-50 \text{ мм}^{-1}$.

1.3.2. Фотографічні матеріали

Фотографічна плівка

У світлонепроникний корпус фотоапарата поміщається негативний матеріал в касеті. Касета заряджає в повній темноті рулонною фотоплівкою.

Фотоплівка – тонка целулоїдна стрічка вкриту світлочутливим шаром. Вона вибирається залежно від поставленої мети по величині світлочутливості, контрастності, фотографічній широті, кольорочутливості.

Світлочутливість - це здатність фотографічного матеріалу реагувати на світлове випромінювання. Вона може бути загальною або спектральною.

Фотоматеріали низької і малої чутливості *дрібнозернисті*, високої і вищої – *грубозернисті*. Ступінь зернистості залежить від роздільної здатності об'єктиву, типу плівки і процесу її обробки. Характер передачі зображення залежить від ступеня *контрастності* фотоматеріалу.

Контрастність – властивість світлочутливого шару чорно-білих фотоматеріалів передавати відмінність яскравості фотографованого об'єкту почорнінням різного ступеню.

Фотографічна широта фотоплівки характеризує можливість отримання негативів однакової контрастності при різній тривалості експозиції. Ця

властивість світлочутливої емульсії дозволяє одержувати задовільні результати навіть при значних помилках у визначенні витримки.

Фотопапір

Основою фотопаперу є непрозора паперова підкладка, на яку наноситься *емульсія* – декілька світлочутливих шарів і захисний желатиновий.

До основних класифікаційних ознак фотопаперу відносяться контрастність, світлочутливість і склад емульсії, поверхня емульсійного шару, густина і колір підкладки, здатність видозмінювати колір зображення, формат.

1.3.3. Основні властивості фотоматеріалів

Основні властивості фотоматеріалів вимірюються на приладах – сенситометрах. При цьому одержують ряд інших характеристик, що дають повне уявлення про якість фотоматеріалів і дозволяють їх найбільш правильне використання в практичних цілях.

Експозиція

Освітлення фотоматеріалу при зйомці - експонування виконується після відкриття затвора об'єктиву.

Експозицією називається величина $H = E t$,

де E – сила освітленості, t – часу витримки.

Якість негативу залежить від експозиції. Правильний вибір її дозволяє одержати негатив з повною градацією тонів. Чинники, що визначають експозицію: світлочутливість негативного матеріалу, розмір діафрагми, тривалість витримки, пора року і діб, стан неба та географічна широта місцевості. Експозиція визначається за допомогою фотоекспонетра.

Світлочутливість фотопаперу пов'язана з контрастністю. Чим нижче контрастність, тим вище світлочутливість фотопаперу.

Застосовуються два способи друку фотознімків (рис. 1.13).

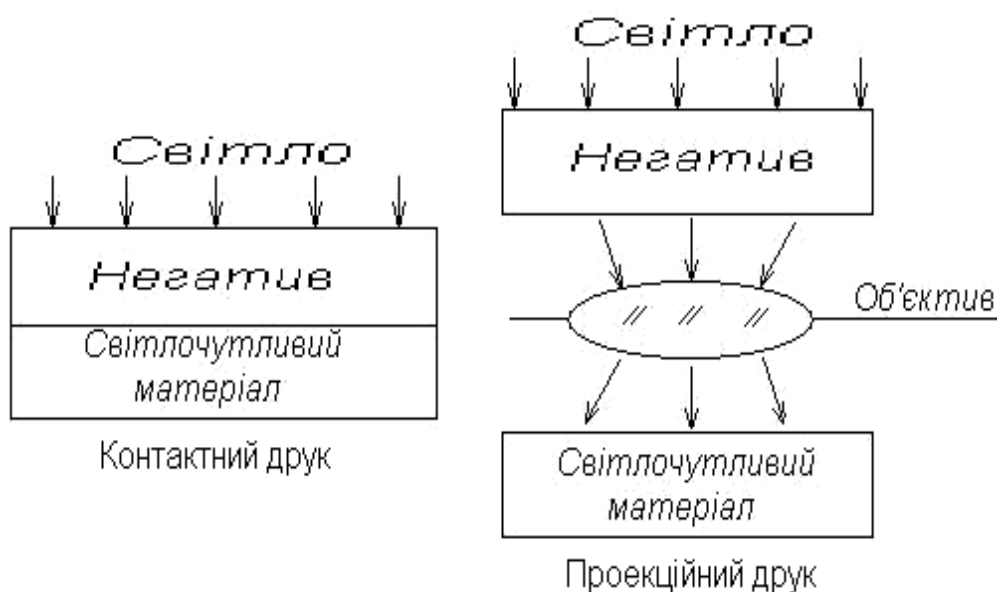


Рис. 1.13 – Схеми друку фотознімків

Контактний друк, при якому друк з негативів здійснюється без зміни масштабу негативного зображення. При проєкційному друку масштаб знімку змінюється.

1.3.4. Фотографічне знімання. Етапи отримання фотознімків

Для отримання фотографії необхідні три послідовні етапи: зйомка (фотографування), негативний і позитивний процеси.

Фотографічне знімання виконується за наступними етапами:

- у корпус фотоапарата поміщають негативний матеріал в касеті;
- на відповідних шкалах встановлюють витримку і діафрагму, визначені по фотоекспонетру;
- зводять затвор і наводять фотоапарат на різкість;
- виконують зйомку, відкриваючи затвор.

Негативний процес

Світлове проміння, відбите предметом який фотографується, проходить через об'єктив фотоапарата і потрапляє на світлочутливий шар фотоплівки або пластинки. Світлочутливий шар складається з найдрібніших кристалів солей срібла в желатині. В місцях, де подіяло світло – на емульсійному шарі фотоматеріалу утворюється приховане зображення. Приховане зображення при дії хімічних речовин (відбувається почорніння солей срібла) перетворюється на видиме.

Перетворення прихованого зображення на видиме називається негативним процесом. В результаті одержують фіксоване зображення сфотографованого об'єкту, зворотне по тону і орієнтуванню - негатив.

Цей процес складається з чотирьох стадій:

- проявлення експонованого фотоматеріалу;
- промивання; закріплення (фіксація);
- промивання і сушка.

Всі операції по отриманню негативу здійснюються в темноті, або при червоному світлі.

Приховане зображення при дії хімічних речовин перетворюється на *видиме*. Речовини, що поновлюють змінене світлом бромисте срібло, і залишаються не зачепленими світлом незмінним, називаються проявляючими, а розчини їх проявниками.

Після проявлення зображення фіксують – бромисте срібло, що залишилося незмінним, видаляють водним розчином фіксажу – гіпосульфіту. Після закінчення фіксації плівка стає нечутливою до активного світла.

Якість негативів залежить від: якості фотооб'єктива і фотоматеріалів (плівки, папери, хімреактивів), їх правильного підбору для зйомки, наведення різкості, правильної експозиції. Негативи використовують у позитивному процесі для виготовлення відбитків на фотопапері.

Позитивний процес

Позитивний процес ведеться при червоному освітленні і включає наступні стадії: підбір відповідного фотопаперу, визначення витримки, експонування, проявлення, фіксацію, промивку і сушку позитивів.

1.4. Аерофотознімальні роботи

1.4.1. Методи визначення форм, розмірів і положення об'єктів із застосуванням фототопографічного знімання

В окремому випадку, коли об'єкт плоский, задачі фотограмметрії розв'язують по одиночних знімках (рис. 1.14).

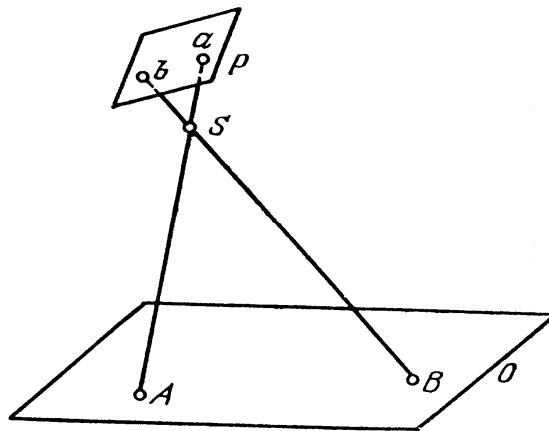


Рис. 1.14 – Одиночний знімок і план об'єкта (місцевості)

Модель об'єкта одержують по знімку P у результаті перетину відновленої зв'язки променів з площиною O . В цьому випадку масштаб моделі можна змінювати віддаленням площини O від вершини зв'язки S .

Метод вимірювання об'єктів, заснований на властивостях одиночного знімка, називається *фотограмметричним*.

Одним з важливих процесів фотограмметричного складання топографічних карт є *дешифрування*, тобто розпізнавання об'єктів місцевості, які зобразились на знімках, і визначення їх характеристик.

Розрізняють польове, камеральне і комбіноване дешифрування. Частіше застосовують комбіноване дешифрування: в польових умовах складають знімки-еталони з результатами розпізнавання найбільш характерних для даного району об'єктів, а потім ці еталони використовують для камерального дешифрування знімків.

Дистанційне зондування поверхні Землі здійснюють шляхом вимірювання електромагнітної енергії, яка випромінюється або відбивається досліджуваним об'єктом. Для цього використовують широкий діапазон випромінювань – від 0,4 мкм до 30 м. Для дистанційного зондування застосовують різноманітні види і засоби знімання, в тому числі радіолокаційні, телевізійні, скануючі та інші.

1.4.2. Види аерофотознімання і знімальний процес, основні технічні вимоги до топографічного аерофотознімання

Аерофотозніманням (АФЗ) називається фотографування ділянок земної поверхні з літального апарату з метою створення топографічних карт або для виконання народногосподарських задач.

Аерофотознімальні роботи виконують відповідно до завдання технічних умов польоту і фотографування, включають аеронавігаційне керівництво польотом, а також фотографування місцевості згідно з технічним проектом.

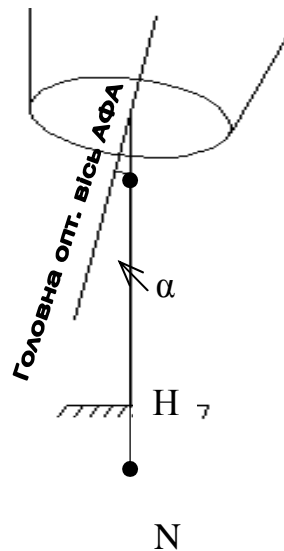


Рис. 1.15 – Відхилення головної оптичної осі АФА від прямовисної лінії

Аерофотознімання в залежності від кутів α відхилення головної оптичної осі АФА від прямовисною лінії (рис. 1.15) розділяють на:

- 1) планове (кути $\alpha \leq 3^{\circ}$);
- 2) перспективне (кути $\alpha > 3^{\circ}$).

Планове знімання виконують із застосуванням гіростабілізації аерофотоапаратів, що дає змогу значно зменшити кути відхилення ($\alpha = 10-15'$, $\alpha = 45-60'$).

Для вирішення топографічних задач виконують тільки планове АФЗ.

В залежності від поставленої задачі і розмірів ділянки місцевості, а також кількості і розташування аерофотознімків планове аерофотознімання розділяється на:

- *кадрове* (одинарне), за яким одержують один або декілька одиночних знімків невеликих ділянок місцевості;
- *маршрутне* – для фотографування лінійних об'єктів (доріг, рік, берегової лінії моря), за яким одержують знімки із взаємним перекриттям зображення смуги місцевості вздовж лінії польоту;
- *багато маршрутне* (площадне) – для фотографування місцевості двома або декількома паралельними маршрутами, які між собою перекриваються.

В залежності від масштабу фотографування топографічна

аерофотозйомка буває:

- 1) дрібномасштабною – 1:50000 і дрібніше;
- 2) середньомасштабною – 1:50000 – 1:10000;
- 3) великомасштабною – 1:10000 і більше.

Фотографування ділянок земної поверхні виконується в межах рамок трапецій топографічних карт.

Аерофотознімання виконується, як правило, прямолінійними і паралельними маршрутами в напрямі захід-схід і навпаки, або північ-південь.

Маршрути повинні бути безперервними і паралельними межах зйомочної ділянки, а осі крайніх маршрутів збігатися з межами ділянки.

Основні технічні вимоги до аерофотознімання: мала не прямолінійність маршрутів, яка характеризується відношенням величини прогину осі маршруту до його довжини, і повинна не перевищувати 2% під час зйомок у масштабах, менших 1:5000 з висот 750 м і вище, а також 3% під час знімання у масштабах 1:5000 і більше з висоти нижче 750 м.

На кожному маршруті сусідні фотознімки перекриваються один одним, тобто на тій їх частині, яка відповідає заданому відсотку поздовжнього перекриття, зображується одна і та ж ділянка місцевості. Відповідно фотознімки сусідніх маршрутів також перекриваються один з одним із заданим відсотком поперечного перекриття (рис. 1.16).

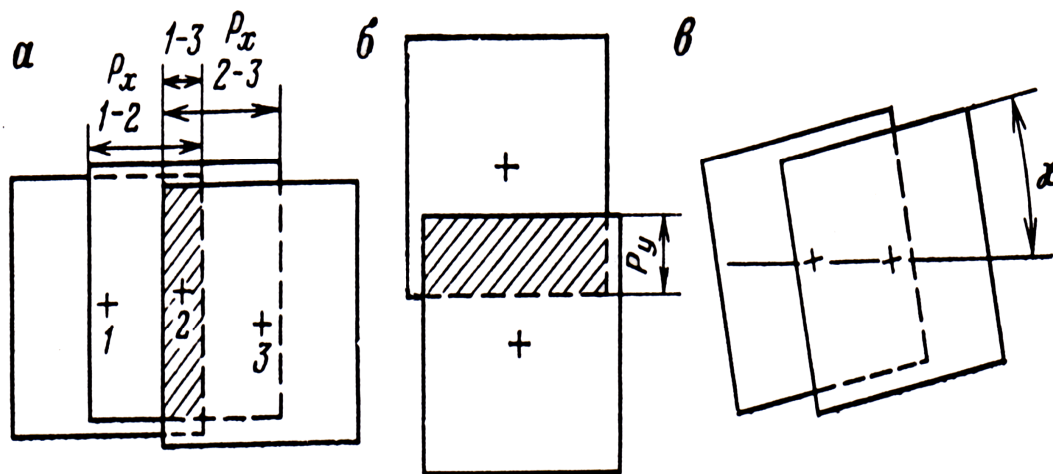


Рис. 1.16 – Схема поздовжнього (а) і поперечного (б) перекриттів аерофотознімків, а також непаральність базису фотографування сторони аерофотознімка (в).

Поздовжнє перекриття P_x аерофотознімків має бути в середньому 60% (мінімальне перекриття 56%), що забезпечує наявність потрібного поздовжнього перекриття не менше 12% (рис. 1.16, а). Поперечне перекриття P_y аерофотознімків суміжних маршрутів (рис. 1.16, б) має бути в середньому 30 – 40% з допустимим мінімальним значенням 20% і максимальним, яке не перевищує середнє на 10-20%.

Поздовжнє перекриття трьох послідовних фотознімків є обов'язковим тому, що воно визначає величину перекриття між сусідніми стереопарами. В

межах цього перекриття набирають зв'язуючі точки, які забезпечують передачу координат з однієї стереопари на іншу.

В поперечному перекритті намічають точки польової прив'язки аерофотознімків, зв'язуючі точки для передачі координат з одного маршруту на другий.

Непаралельність базису фотографування стороні фотознімка (рис. 1.16,в), так званої «ялинки», не повинна перевищувати 5° для фокусних відстаней фотокамер $f = 100$ мм і менше, 10° - 12° для $f = 200$ - 350 мм і 14° – для $f = 500$ мм.

Носієм аерофотозйомочного обладнання під час знімання в середніх і менших масштабах служить літак АН–30, верхня межа висоти польоту якого складає 8 км, середня швидкість – 440 км/год.

Для аерознімання в середніх масштабах використовують літак ИЛ–14 ФК, висота польоту якого досягає 6 км і середня крейсерська швидкість становить 300 км/год.

Літак АН–2 призначають для знімання у великих масштабах. Висота польоту його дорівнює 5 км, середня швидкість – 180 км/год. Для фотознімання в тих же масштабах невеликих ділянках земної поверхні використовується вертоліт КА–26, висота польоту якого досягає 3 км і середня швидкість становить 140 км/год.

Відхилення висоти польоту над середньою площиною зйомочної ділянки від її розрахованого значення не повинно перевищувати 3 % при зніманні рівнинних районів і 5 % – гірських.

Аерофотознімання виконують на чорно-білій, кольоровій і спектрзональній фотоплівках. Частіше використовують чорно-білу фотоплівку, тому що вартість її виготовлення і фотохімічної обробки нижча, ніж у інших типів фотоплівок.

Кольорову і спектрзональну фотоплівку використовують в тих випадках, коли основною метою є *дешифрування* об'єктів на земній поверхні.

Фотознімання повинно виконуватись при відсутності хмар, висота Сонця над горизонтом має бути не нижче 20° при фотографуванні на чорно-білу фотоплівку і 25° – на кольорову або спектрзональну.

Аеронегативи, контактні відбитки з них на фотопапері, а також діапозитиви на скляних пластинках повинні мати різке і добре оброблене зображення по всій площині.

1.5. Теорія відокремленого аерофотознімка. Геометричні властивості знімка

1.5.1. Системи координат у фотограмметрії

У фотограмметрії для визначення положення точки місцевості використовуються:

- *геодезична, права* система прямокутних координат Гауса $O_G X_G Y_G Z_G$;
- *фотограмметрична ліва* просторова система прямокутних координат

$OXYZ$ (рис. 1.17).

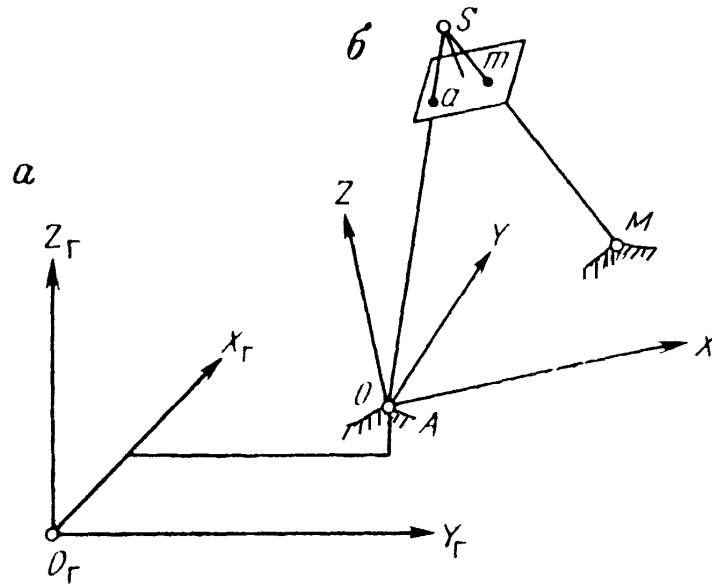


Рис. 1.17 – Геодезична система прямокутних координат (а) і фотограмметрична система (б)

Початок і напрями осей *фотограмметричної* системи координат можуть бути вибрані довільно. В окремому випадку початок системи суміщують з будь-якою точкою місцевості, наприклад, точкою A , або з центром проєкції S . Осі X і Y вибирають паралельними осям x і y знімка, а вісь Z направляють по головному променю АФА.

Взаємне положення точок на аерознімку або космічному знімку часто визначають в плоскій системі координат $o'xy$ (рис. 1.18).

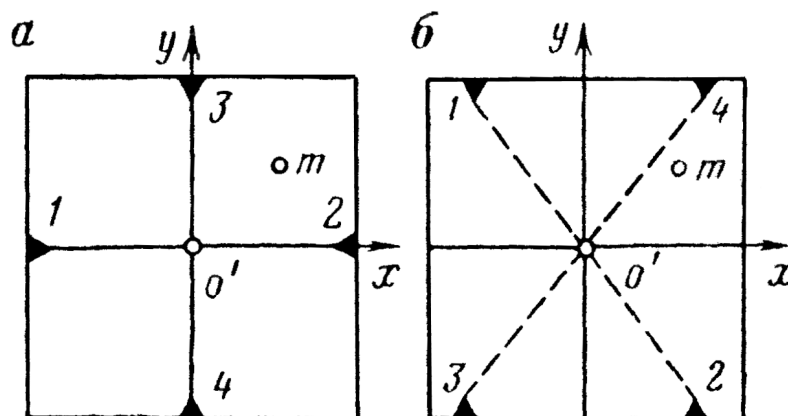


Рис. 1.18 – Система координат на знімку

Початок прямокутної системи координат $o'xy$ знаходиться на перетині прямих, що з'єднують координатні мітки 1 і 2, 3 і 4. Вісь x суміщають з прямою 1-2 (а) або проводять паралельно прямій 3-2 (б).

Положення точки на аерознімку також визначають в просторовій прямокутній системі координат $Sxyz$ (рис. 1.19), в якій початком є передня

вузлова точка S об'єктива, осі x і y паралельні осям x і y знімка.

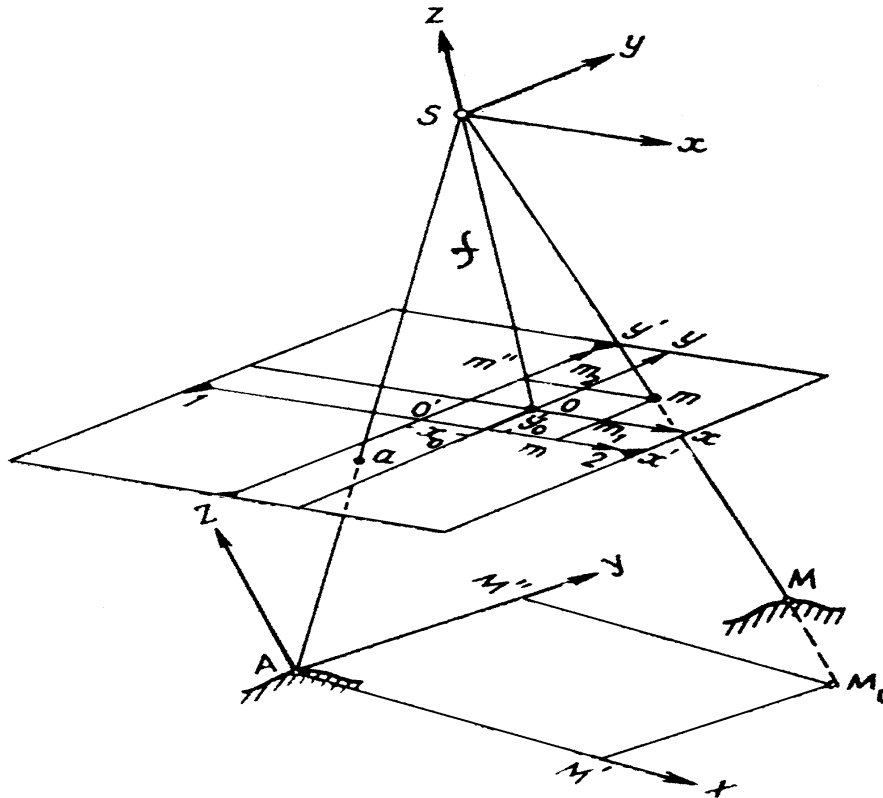


Рис. 1.19 – Визначення положення точки на знімку

В ідеальному випадку, головна точка знімка повинна співпадати з точкою o' , але цю вимогу важко здійснити. Тому перехід від вимірних координат x' і y' до координат x і y здійснюють шляхом паралельного переносу системи координат $o'x'y'$ на величини x_0 і y_0 : $x = x' - x_0$, $y = y' - y_0$.

Для всіх точок знімка в системі $Sxyz$ дорівнює

$$Z = -f.$$

Координати точки m в системі $Sxyz$:

$$x = x' - x_0, y = y' - y_0, z = -f.$$

1.5.2. Елементи внутрішнього і зовнішнього орієнтування знімків

Елементи внутрішнього орієнтування знімків

Для визначення по знімку координат точок місцевості необхідно знати положення центра проекції відносно знімка і положення знімка в просторі в момент фотографування, яке визначається елементами внутрішнього і зовнішнього орієнтування знімка.

До елементів внутрішнього орієнтування (ЕВО) належать (рис. 1.20):

- 1) величина фокусної відстані f ;
- 2) координати x_0 і y_0 головної точки o в системі координат $o'x'y'$ знімка.

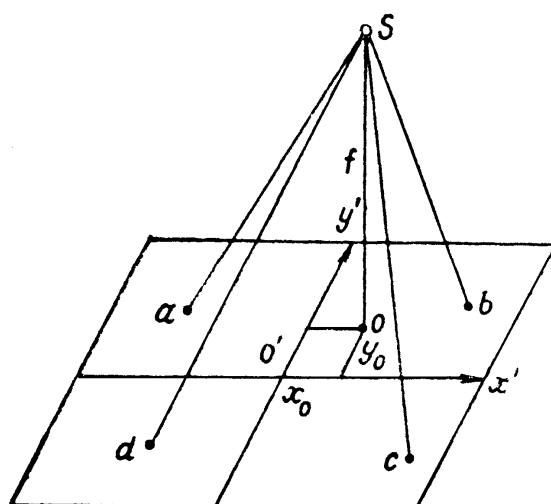


Рис. 1.20 – Елементи внутрішнього орієнтування знімка

Елементи внутрішнього орієнтування дають можливість відтворити зв'язки променів, що проектується й існують в момент фотографування. Вони визначають при дослідженні АФА з похибками, меншими від похибок вимірювання на знімку, і записують у паспорт аерофотоапарата.

Елементи зовнішнього орієнтування знімків

Елементами зовнішнього орієнтування (ЕЗО) називаються величини, які визначають положення центра проекції і площини знімка в момент фотографування *відносно системи координат, прийнятої на місцевості*. Використовують дві системи елементів зовнішнього орієнтування (рис. 1.21).

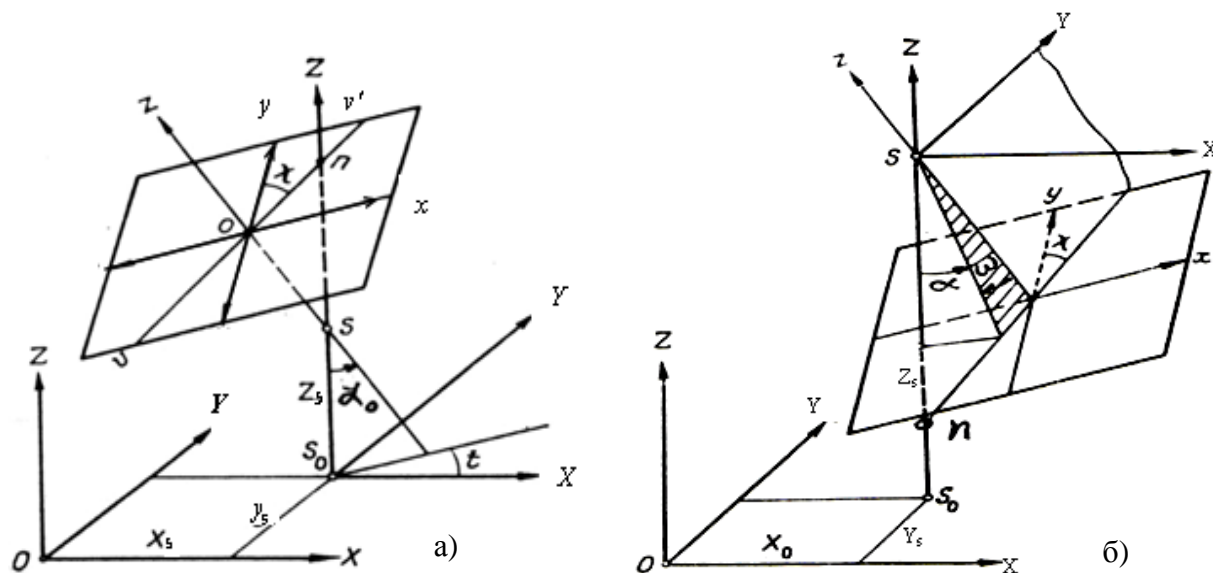


Рис. 1.21 – Елементи зовнішнього орієнтування знімка:
а) перша система; б) друга система

Перша система (рис. 1.21, а), має шість елементів орієнтування:

X_s, Y_s, Z_s – координати центра проекції (передньої вузлової точки об'єктива в момент знімання);

α_0 – кут нахилу знімка – кут між віссю Z і головним променем;

t – кут лінії напряму зйомки – кут між віссю X і слідом площини головного вертикала;

χ_0 – кут повороту знімка в своїй площині навколо головного променя So – кут між віссю u і головною вертикаллю vv' знімка.

В другій системі (рис. 1.21, б) також шість елементів зовнішнього орієнтування, з яких три лінійні і три кутові.

До лінійних величин відносяться координати центра проекції S : X_s, Y_s, Z_s , а до кутових – α поздовжній кут нахилу знімка – кут між віссю Z і проекцією головного променя на площину XZ ;

ω – поперечний кут нахилу знімка – кут між головним променем і його проекцією на площину XZ , розміщується в площині, яка проходить через вісь Y і головний промінь;

χ – кут повороту знімка в своїй площині навколо головного променя – кут між віссю u і слідом площини, яка проходить через вісь Y і головний промінь.

Таким чином, аерофотознімок має дев'ять елементів орієнтування: три елементи внутрішнього орієнтування, шість елементів зовнішнього орієнтування. При цьому α_0 і t або α і ω фіксують напрям головного променя, а χ – поворот знімка навколо головного променя.

Елементи зовнішнього орієнтування в момент фотографування можуть бути визначені безпосередньо в польоті різними засобами з різною точністю.

Коли точність недостатня для великомасштабного картографування, на місцевості визначають геодезичні координати декількох точок, які можна розпізнати на знімку.

1.5.3. Перетворення координат у просторі через направляючі косинуси

В фотограмметрії доводиться виконувати перетворення однієї системи просторових прямокутних координат в іншу. При цьому використовують поняття «Направляючі косинуси».

Направляючими косинусами називаються величини косинусів α, β і γ , які утворені додатними напрямками осей просторової системи координат $OXYZ$ з вектором $a(X, Y, Z)$, тобто – $\cos\alpha, \cos\beta$ і $\cos\gamma$ (рис. 1.22).

Із прямокутного трикутника OMR :

$$\cos \gamma = \frac{OR}{|OM|} = \frac{Z}{|a|} = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}},$$
$$\cos \alpha = \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}, \quad \cos \beta = \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}$$

Якщо вектор a має довжину, яка дорівнює одиниці масштабу ($|a|=1$), то $\cos\alpha = X, \cos\beta = Y, \cos\gamma = Z$. При перетворенні координат із системи $Sxyz$ в систему $SXYZ$ використовують косинуси кутів, складених кожною із осей X, Y, Z з відповідними осями x, y, z .

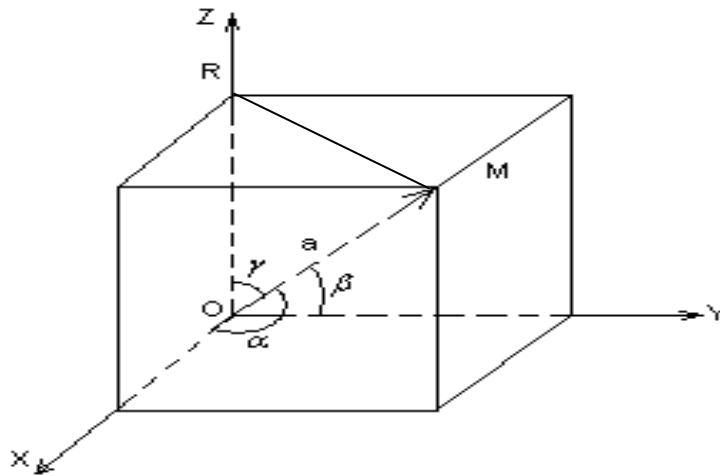


Рис. 1.22 – Кути між осями координат і вектором $a(X,Y,Z)$

В табл. 1: a_1, a_2, a_3 – косинуси кутів між віссю X і осями x, y, z ; b_1, b_2, b_3 – косинуси кутів між віссю Y і осями x, y, z ; c_1, c_2, c_3 – косинуси кутів між віссю Z і осями x, y, z .

Таблиця 1 – Косинуси кутів між координатними осями

Координатні осі	x	y	z
X	a_1	a_2	a_3
Y	b_1	b_2	b_3
Z	c_1	c_2	c_3

Перетворення координат точок із системи $Sxyz$ в систему $SXYZ$ визначає квадратна матриця A , яка складена із направляючих косинусів (рис. 1.23).

При *аналітичному* перетворенні координат точок із просторової системи координат знімка $Sxyz$ в фотограмметричну систему координат $SXYZ$, в системі $Sxyz$ вісь z (рис. 1.23). Рівняння перетворення координат із системи $Sxyz$ в систему $SX'Y'Z'$ в матричній формі:

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} &= A \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix}, \text{ або } \begin{cases} X' = a_1x + a_2y - a_3f \\ Y' = b_1x + b_2y - b_3f \\ Z' = c_1x + c_2y - c_3f \end{cases} \end{aligned} \right\}$$

Якщо координати головної точки o знімка не дорівнюють нулю:

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} &= A \cdot \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix}, \text{ або } \begin{cases} X' = a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3f \\ Y' = b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3f \\ Z' = c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f \end{cases} \end{aligned} \right\}$$

Параметри, які визначають направляючі косинуси, – це кутові елементи зовнішнього орієнтування знімка t, α_0, χ або α, ω, χ .

Якщо направляючі косинуси *відомі*, то можна визначити величини кутових елементів зовнішнього орієнтування знімка:

$$\operatorname{tg} \chi = \frac{c_1}{c_2}, \quad \cos \alpha_0 = c_3 \quad \text{і} \quad \operatorname{tgt} = \frac{b_3}{a_3}.$$

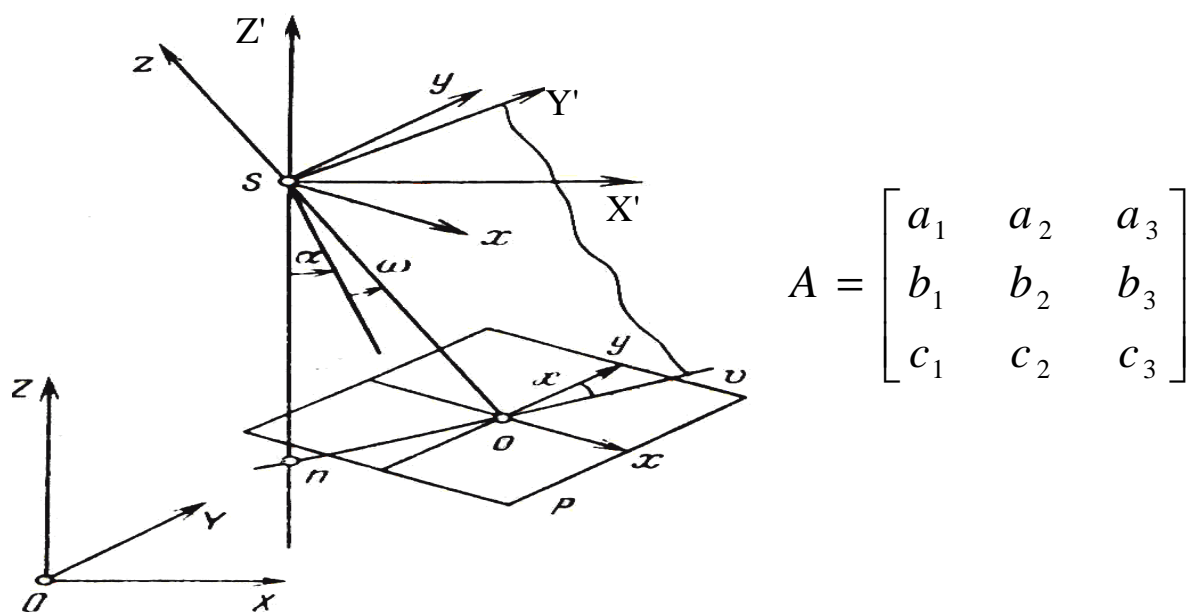


Рис. 1.23 – Просторові системи координат для визначення положення точок знімка та матриця A направляючих косинусів

За відомими величинами направляючих косинусів можна обчислити кутові елементи:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_3}{c_3}, \quad \sin \omega = -b_3, \quad \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{b_1}{b_2}.$$

Кутові елементи зовнішнього орієнтування зніmkів, як правило, малі і тому для більшості задач достатньо обмежитися величинами другого порядку малості:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= 1 - \frac{1}{2} \alpha^2 - \frac{1}{2} \varepsilon^2, \\ a_2 &= -\varepsilon + \alpha \omega, \\ a_3 &= \alpha, \\ b_1 &= \varepsilon, \\ b_2 &= 1 - \frac{1}{2} \omega^2 - \frac{1}{2} \varepsilon^2, \\ b_3 &= -\omega, \\ c_1 &= -\alpha + \omega \varepsilon \\ c_2 &= \alpha \varepsilon + \omega, \\ c_3 &= 1 - \frac{1}{2} \alpha^2 - \frac{1}{2} \omega^2. \end{aligned} \right\}$$

1.5.4. Залежності між координатами точок місцевості і знімків

Принцип визначення залежності між координатами точок місцевості і знімків показано на рис. 1.24. На знімку P , що одержано з точки S , в точці m зображена точка місцевості M .

Положення центра проєкції S відносно початку O визначає вектор \bar{R}_S або координати X_S, Y_S, Z_S в системі координат $OXYZ$. Положення точки M відносно того ж початку визначає вектор \bar{R} або координати X_M, Y_M, Z_M . Положення точки m відносно точки S – вектор \bar{R}' або координати X', Y', Z' в системі координат $SX'Y'Z'$. Вектори \bar{R}' , $\bar{SM} = \bar{R} - \bar{R}_S$ колінеарні, отже: $\bar{R}' = C(\bar{R} - \bar{R}_S)$, де C – скаляр.

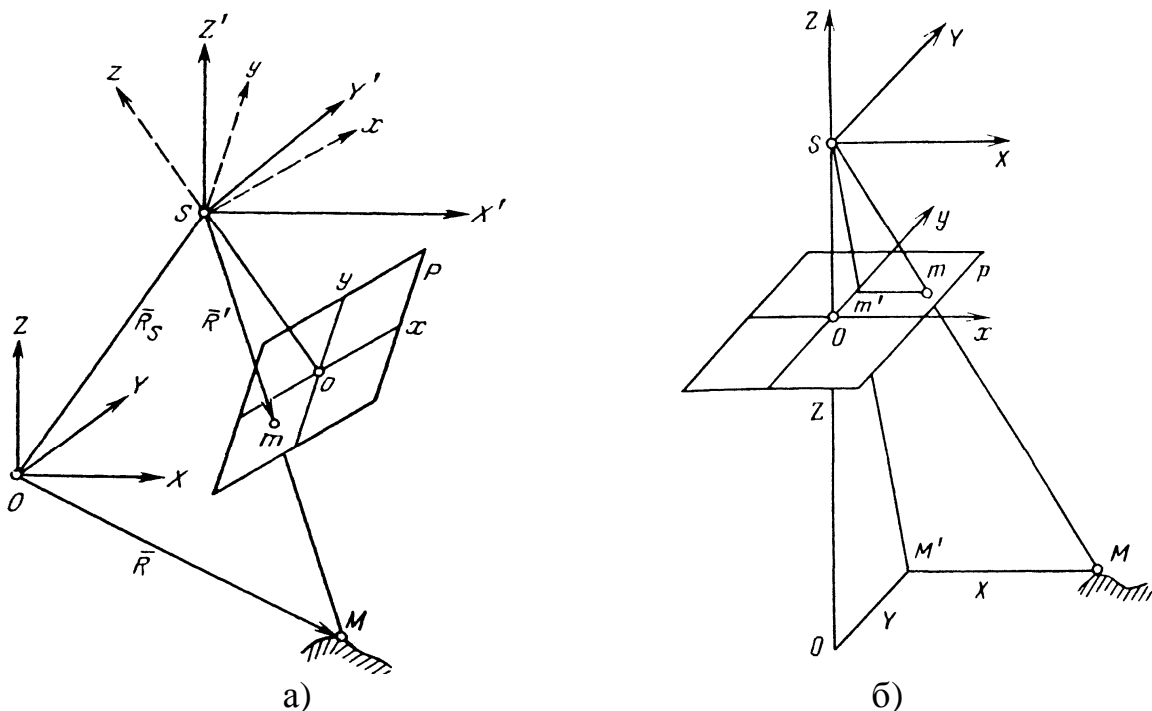


Рис. 1.24 – Схема зв'язку координат точок місцевості і відокремленого знімка: а – загальний випадок, б – знімок горизонтальний

В системі координат Sxx_yy_zz точка m має координати $x, y, z = -f$, тому координати вектора \bar{R}' в системі координат $SX'Y'Z'$ (при $x_0=0; y_0=0$) визначаються з рівняння:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix}$$

Колінеарні вектори \bar{R}' і \bar{SM} мають пропорційні координати:

$$\frac{X'}{X - X_S} = \frac{Y'}{Y - Y_S} = \frac{Z'}{Z - Z_S}.$$

$$\text{Тоді: } X - X_S = (Z - Z_S) \cdot \frac{X'}{Z'}, \quad Y - Y_S = (Z - Z_S) \cdot \frac{Y'}{Z'}.$$

Після підстановки значення координат вектора \bar{R}' , визначених через координати точки m знімка:

$$\left. \begin{aligned} X - X_S &= (Z - Z_S) \cdot \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ Y - Y_S &= (Z - Z_S) \cdot \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{aligned} \right\},$$

де a_i, b_i, c_i – направляючі косинуси, $f = So$ – фокусна відстань фотокамери.

Висновки:

- один знімок дає можливість скласти для кожної зображеної точки тільки два рівняння з трьома невідомими координатами точки місцевості, що недостатньо для визначення положення точки місцевості;

- за відокремленим знімком координати точки місцевості M можна знайти лише в окремому випадку, коли відома висота фотографування $H = Z_S - Z$;

- коли місцевість майже не відрізняється від горизонтальної площини, знімок горизонтальний і кутові елементи зовнішнього орієнтування знімка $\alpha = \omega = \chi = 0$, то осі координат знімка x, y паралельні осям X, Y ;

- якщо $X_S = Y_S = Z_S = 0$ і направляючі косинуси $a_1 = b_2 = c_3 = 1$, а інші дорівнюють нулю, то координати обчислюються за формулами:

$X = H \frac{x}{f},$ $Y = H \frac{y}{f}.$	$X = H \frac{x}{f},$ $Y = H \frac{y}{f}.$
---	---

Визначимо залежності між координатами точок місцевості і нахиленого знімку (рис. 1.25). Якщо $x_0 = y_0 = 0$, $\alpha = \chi = 0$, $\omega = \alpha_0$, $X_S = Y_S = Z_S = 0$, то направляючі косинуси мають наступні значення:

$$a_1 = 1, \quad a_2 = 0, \quad a_3 = 0;$$

$$b_1 = 0, \quad b_2 = \cos \alpha_0, \quad b_3 = -\sin \alpha_0;$$

$$c_1 = 0, \quad c_2 = \sin \alpha_0, \quad c_3 = \cos \alpha_0.$$

Якщо початок координат на знімку буде в точці надіра n , а на місцевості в точці N , яка відповідає точці надіра, то аналітичні залежності координат відповідних точок обчислюються за формулами:

$X = H \frac{x \cos \alpha_0}{f - y \sin \alpha_0 \cos \alpha_0}$ $Y = H \frac{y \cos^2 \alpha_0}{f - y \sin \alpha_0 \cos \alpha_0}$	$x = f \frac{X}{H \cos \alpha_0 + Y \sin \alpha_0}$ $y = f \frac{Y}{(H \cos \alpha_0 + Y \sin \alpha_0) \cos \alpha_0}$
---	---

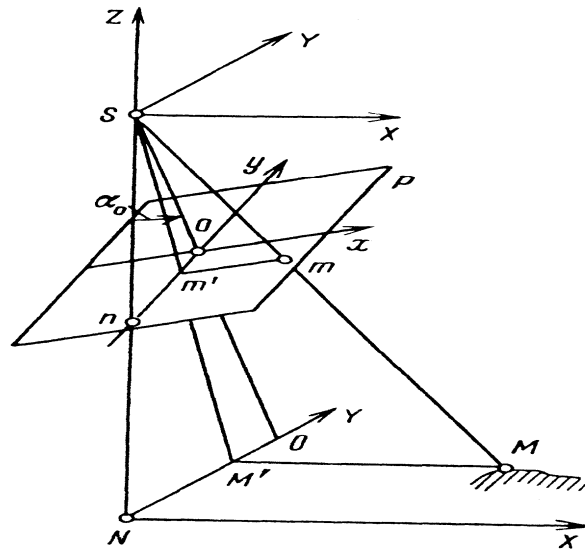


Рис. 1.25 – Схема залежності між координатами точок місцевості і нахиленого знімку

Коли початок координат на знімку в *головній точці* o , а на місцевості – в O , яка відповідає головній точці, то аналітичні залежності координат відповідних точок обчислюються за формулами:

$\left. \begin{aligned} x &= f \frac{H \sin \alpha_0 + X \cos \alpha_0}{(H \cos \alpha_0 + Y \sin \alpha_0) \cos \alpha_0} \\ y &= f \frac{Y \cos \alpha_0 - H \sin \alpha_0}{H \cos \alpha_0 + Y \sin \alpha_0} \end{aligned} \right\}$	$\left. \begin{aligned} X &= H \frac{x}{f \cos \alpha_0 - y \sin \alpha_0} \\ Y &= H \frac{y}{(f \cos \alpha_0 - y \sin \alpha_0) \cos \alpha_0} \end{aligned} \right\}$
--	--

Якщо початок координат на знімку в точці нульових спотворень s , а на місцевості – в точці C , то аналітичні залежності координат відповідних точок обчислюються за формулами:

$\left. \begin{aligned} X &= H \frac{x}{f - y \sin \alpha_0} \\ Y &= H \frac{y}{f - y \sin \alpha_0} \end{aligned} \right\}$	$\left. \begin{aligned} x &= f \frac{X}{H + Y \sin \alpha_0} \\ y &= f \frac{Y}{H + Y \sin \alpha_0} \end{aligned} \right\}$
--	--

1.5.5. Зсув точок на аерознімку через його нахил

Вплив на положення точок

Якщо нахилений і горизонтальний аерознімки одержано однією фотокамерою із загального центру проєкції S , вони умовно перетинаються по горизонталі h_c, h_c , яка проходить через точку нульових спотворень s . Пряма Ss є бісектрисою кута нахилу знімка α_0 , фокусні відстані знімків P і P^0 однакові (рис. 1.26).

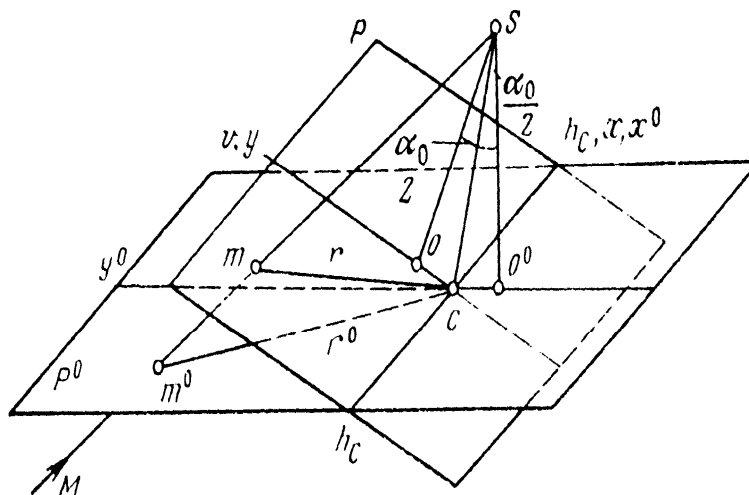


Рис. 1.26 – Схема зсуву точки аерознімку через його нахил

Точка місцевості M зобразиться у точці на m^0 горизонтальному та точці m на нахиленому знімках.

Кути між радіусами r і r^0 і лінією h_c, h_c однакові. Тому, якщо знімок P сумістити із знімком P^0 поворотом навколо горизонталі h_c, h_c , то радіуси r і r^0 збіжаться. При цьому точка m нахилоного знімка буде зсунута відносно точки m^0 горизонтального знімка в напрямі cm^0 .

Висновки:

- нахил знімка викликає радіальний зсув точок;
- точки, які знаходяться вище лінії h_c, h_c , із збільшенням кута α_0 наближаються до точки нульових спотворень c ;
- точки, які розташовані нижче лінії h_c, h_c , віддаляються від точки c (рис. 1.26);
- точка l , яка знаходиться на лінії неспотвореного масштабу, займає однакове положення на нахиленому і горизонтальному знімках (рис. 1.27).

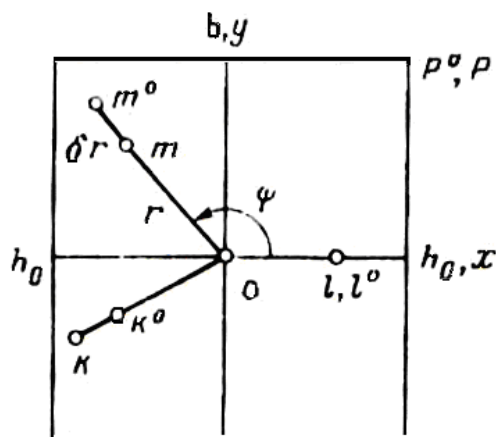


Рис. 1.27 – Вплив кута нахилу знімка на зсув зображення

Якщо початок координат знаходиться на знімку в точці нульових спотворень c , а на місцевості у відповідній їй точці C , то:

$$X = H \frac{x}{f - y \sin \alpha_0} = H \frac{x^0}{f}, \quad Y = H \frac{y}{f - y \sin \alpha_0} = H \frac{y^0}{f},$$

де X, Y – координати точки місцевості;

H – висота фотографування відносно місцевості, яка приймається за горизонтальну площину;

x і y координати точки на нахиленому знімку P ;

x^0 і y^0 – координати точки на горизонтальному знімку.

Тоді:

$$x^0 = f \frac{y}{f - y \sin \alpha_0}, \quad y^0 = f \frac{y}{f - y \sin \alpha_0}.$$

Величина радіуса-вектора r^0 на горизонтальному знімку дорівнює:

$$r^0 = \sqrt{(x^0)^2 + (y^0)^2}.$$

Підставивши в цей вираз значення x^0 і y^0 , одержимо

$$r^0 = \frac{f}{f - y \sin \alpha_0} \cdot \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{f}{f - y \sin \alpha_0} \cdot r.$$

Враховуючи, що $y = r \sin \varphi$, одержимо:

$$r^0 = \frac{f}{f - r \sin \varphi \cdot \sin \alpha_0} \cdot r.$$

Тоді величина зсуву δr_{α_0} точки знімка, що викликана кутом нахилу α_0 :

$$\delta r_{\alpha_0} = r - r^0 = r.$$

З урахуванням цього отримаємо:

$$\delta r_{\alpha_0} = r - \frac{f}{f - r \sin \varphi \cdot \sin \alpha_0} \cdot r = r \cdot \left(1 - \frac{f}{f - r \sin \varphi \cdot \sin \alpha_0} \right) = - \frac{r^2 \sin \varphi \cdot \sin \alpha_0}{f - r \sin \varphi \cdot \sin \alpha_0},$$

або
$$\delta r_{\alpha_0} = - \frac{r^2 \sin \varphi \cdot \sin \alpha_0}{f - r \sin \varphi \cdot \sin \alpha_0}.$$

Висновки:

- максимальне значення δr_{α_0} буде при найбільшому значенні r і $\varphi = 90^0$ – для точки на головній вертикалі і максимально віддаленій від точки нульових спотворень;

- коли $\alpha_0 \leq 3^0$, величину зсуву точки знімка можна обчислити за формулою:

$$\delta r_{\alpha_0} = - \frac{r^2}{f} \alpha_0 \cdot \sin \varphi.$$

Розглянемо приклад обчислення δr_{α_0} для планового знімку.

Для планового аерознімку $\alpha_0 = 3^0$, $\varphi = 90^0$, $r = 70$ мм, $f = 200$ мм.

Тоді значення $\delta r_{\alpha_0} = -1.3$ мм.

1.5.6. Зсув точок на аерознімку через вплив рельєфу місцевості

Зображення вертикальних об'єктів місцевості на аерофотознімках мають вигляд відрізків, які сходяться в точку надіра.

Точки місцевості A і B які мають перевищення $-h_a$ і h_b відносно горизонтальної площини T , прийнятої за початкову (рис. 1.28).

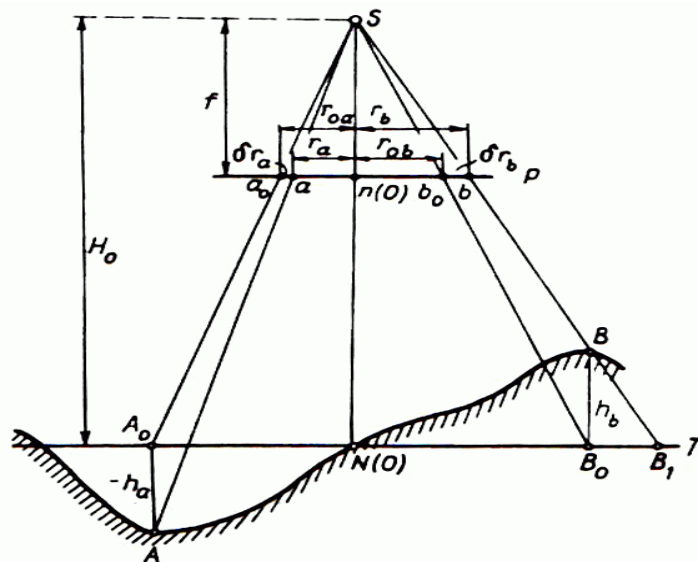


Рис. 1.28 – Вплив перевищення на зсув точок

Точки A_0 і B_0 – ортогональні проєкції точок A, B на площину T . На топографічному плані точки A і A_0 зобразились би однією точкою, те ж саме стосується і точок B, B_0 .

Розглянемо два випадки.

Знімок P горизонтальний

На горизонтальному знімку P зображення точок A і B місцевості і їх ортогональні проєкції на початкову площину не збігаються.

Так, точка A зображується на знімку в точці a , а точка A_0 , в точці a_0 .

Відрізок aa_0 – є зсув зображення точки під впливом рельєфу місцевості. Він є зображенням вертикальної прямої BB_0 на знімку.

Точкою на аерофотознімку зображується тільки *вертикальна пряма*, що проходить через точку N . На горизонтальному знімку точка надіра n збігається з головною точкою o .

Введемо наступні позначення: $na - r_a$, $nb - r_b$, $\delta r_a - aa_0$, $\delta r_b - bb_0$, через r_{0a} – відрізок na_0 , через r_{0b} – відрізок nb_0 .

Зсув $\delta r_h = r - r_0$.

З подібності трикутників SNB_1 і BB_0B_1 знаходимо

$$\frac{h_b}{H_0} = \frac{B_0B_1}{NB_1}, \quad \frac{\delta r_b}{r_b} = \frac{h_b}{H_0},$$

де H_0 – висота фотографування над початковою площиною.

Тоді з урахуванням знаків δr_h і перевищення h , формула зсуву має вигляд:

$$\delta r_h = \frac{h}{H_0} \cdot r.$$

Висновки :

- зсуви точок на знімку через вплив рельєфу відносно початкової площини T направлені від точки надіра при $h > 0$ та до точки надіра – при $h < 0$;
- зсув δr_h через рельєф зменшується із збільшенням висоти фотографування H_0 ;
- зсув точок через рельєф прямо пропорційний відстані даної точки від точки надіра і досягає максимального значення на краях знімка.
- радіус кола, в межах якого зсув δr_h не перевищує допустимої величини спотворень координат точок:

$$r = \frac{\delta r_{h \text{ доп}} \cdot H_0}{h}.$$

Приклади:

1) При $H_0 = 2000$ м, $h = 100$ м і $r = 70$ мм величина δr_h дорівнює +3,5 мм.

2) Якщо на знімку, який одержано аерофотоапаратом з $f = 200$ мм у масштабі 1:25000, спотворення не повинні перевищувати 0,3 мм, то при $h = 25$ м значення r повинно бути 60 мм.

Знімок P нахилений

Коли знімок нахилений, тобто $\alpha_0 \neq 0$, то одночасно виникає зсув точок через кут нахилу α_0 і через рельєф місцевості.

У випадку, коли початок координат на знімку знаходиться в точці надіру, а на місцевості в точці N , проєкції зсуву точки нахилоного знімка на координатні осі x і y через рельєф обчислюються за формулами:

$\delta x = \frac{h}{H} x \left(1 - \frac{y}{2f} \sin 2\alpha_0 \right)$	$\delta y = \frac{h}{H} y \left(1 - \frac{y}{2f} \sin 2\alpha_0 \right)$
---	---

Враховуючи значення δx і δy , а також те, що $\delta r = \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}$ і $y = r \cdot \sin \varphi$, одержують величину сумісного впливу кута нахилу α_0 і перевищення рельєфу h за формулою:

$$\delta r = \frac{h}{H} r \left(1 - \frac{r \sin \varphi \cdot \sin 2\alpha_0}{2f} \right).$$

На плановому знімку:

$$\delta r = \frac{h}{H} r \left(1 - \frac{y}{f} \alpha_0 \right),$$

На горизонтальному знімку:

$$\delta r = \frac{h}{H} r,$$

де H – висота фотографування відносно місцевості, яка приймається за горизонтальну площину.

1.6. Масштаби зображення на аерознімку

Масштаб зображення *плоскої горизонтальної* ділянки місцевості на *горизонтальному знімку* є сталою величиною. Він обчислюється за виразом:

$$1 / m = f / H,$$

де f – фокусна відстань аерофотоапарата, H – висота польоту.

В загальному випадку масштаб аерознімку змінюється при переході від однієї точки відрізка до іншої і при зміні напрямку вимірюваного відрізка.

Масштаб зображення аерознімку визначається відношенням нескінченно малих відрізків на знімку і на горизонтальній місцевості

$$1 / m = ds / dS,$$

де ds і dS – відповідні нескінченно малі відрізки на площині нахиленого знімка і на горизонтальній площині місцевості (рис. 1.29).

На знімку прийнята система координат sxy з початком в точці нульових спотворень c , вісь x направлена по лінії неспотвореного масштабу, вісь y – вздовж головної вертикалі.

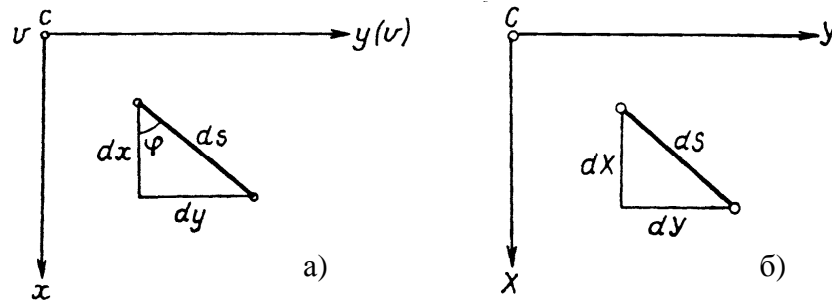


Рис. 1.29 – Нескінченно малі відрізки на знімку (а) і на місцевості (б)

На місцевості початком системи координат прийнята точка C , зображення якої на знімку збігається з точкою нульових спотворень, а за напрямки осей X і Y – проекції осей x і y знімка.

Напрямок відрізка ds на знімку визначається кутом φ відносно лінії неспотвореного масштабу, з якою суміщена вісь x системи координат.

Проекції відрізка ds на осі x і y та довжина відрізка dS на горизонтальній площині через проекції на осі X і Y обчислюються за формулами:

$$dx = ds \cos\varphi, \quad dy = ds \sin\varphi, \quad dS = \sqrt{dX^2 + dY^2}. \quad (1.1)$$

Масштаб знімку обчислюється за формулою:

$$\frac{1}{m} = \frac{ds}{\left(dX^2 + dY^2 \right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (1.2)$$

Для визначення величин dX і dY використовуючи формули для нахиленого знімка. Виконавши диференціювання по змінним x і y , після підстановки замість dx і dy їх значення з (1.1), отримаємо:

$$dX = \frac{dsH}{f} \frac{(k \cos \varphi + c \sin \varphi)}{k^2},$$

$$dY = \frac{dsH}{f} \frac{\sin \varphi}{k^2}.$$
(1.3)

де $k = 1 - \frac{y}{f} \sin \alpha_0$, $c = \frac{x}{f} \sin \alpha_0$

Після підстановки dX і dY в (1.2) отримаємо:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \frac{k^2}{[(k \cos \varphi + c \sin \varphi)^2 + \sin^2 \varphi]^{\frac{1}{2}}}.$$
(1.4)

Висновки:

- масштаб зображення на *нахиленому* знімку є величиною змінною і в даній точці і по різних напрямках розрізняється;

- для будь-якої горизонталі $\varphi = 0^0$, тому $\sin \varphi = 0$, $c \cos \varphi = 0$, коефіцієнт k не залежить від абсциси точки, а масштаб вздовж горизонталі – є величина стала.

На основі формули (1.4), обчислюють масштаб зображення в характерних точках нахиленого знімка за напрямом головної вертикалі і за напрямом, що перпендикулярні до неї (горизонталям).

Методи обчислення масштабів в характерних точках нахиленого знімка.

1. Масштаб зображення в точці нульових спотворень c :

за напрямом головної вертикалі: $\frac{1}{m_{c_y}} = \frac{f}{H}$,

якщо $y_c = 0$, $x_c = 0$, $\varphi = 90^0$, $k = 1$, $c = 0$, $\sin \varphi = 1$;

за напрямом лінії неспотвореного масштабу: $\frac{1}{m_{h_c h_c}} = \frac{f}{H}$,

якщо $y_c = 0$, $x_c = 0$, $\varphi = 0^0$, $k = 1$, $c \sin \varphi = 0$, $c \cos \varphi = 0$.

Отже, масштаб зображення в точці нульових спотворень і по горизонталі, що проходить через точку c , дорівнює масштабу зображення на горизонтальному знімку. Тому цю горизонталь називають лінією неспотвореного масштабу.

2. Масштаб зображення в головній точці знімка o :

по головній вертикалі: $\frac{1}{m_y} = \frac{f}{H \cos \alpha_0}$,

якщо $y_0 = f \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}$, $x_0 = 0$, $c = 0$, $\varphi = 90^0$, $k = \cos \alpha_0$;

по горизонталі: $\frac{1}{m_{h_0 h_0}} = \frac{f}{H} \cos \alpha_0$,

якщо $y_0 = f \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}$, $\varphi = 0$, $c = \frac{x}{f} \sin \alpha_0$, $k = \cos \alpha_0$.

3. Масштаб зображення в точці надіра n .

по головній вертикалі: $\frac{1}{m_{n_y}} = \frac{f}{H \cos^2 \alpha_0}$,

якщо $y_n = -f \operatorname{tg} \alpha_0 + f \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}$, $x_n = 0$, $\varphi = 90^\circ$, $k = \frac{1}{\cos \alpha_0}$, $c = 0$;

по горизонталі: $\frac{1}{m_{h_n h_n}} = \frac{f}{H \cos \alpha_0}$,

якщо $y_n = -f \operatorname{tg} \alpha_0 + f \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}$, $x_n = 0$, $k = 1 + \operatorname{tg} \alpha_0 - \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}$, $c = \frac{x}{f} \sin \alpha_0$.

4. Масштаб зображення в головній точці сходу I .

по головній вертикалі: $\frac{1}{m_{i_y}} = 0$,

якщо $y_i = \frac{f}{\sin \alpha_0}$, $x_i = 0$, $\varphi = 90^\circ$, $k = 0$, $c = 0$;

масштаб по горизонталі, що проходить через точку I : $\frac{1}{m_{h_i}} = 0$.

Масштаб у будь-якій точці знімка, віддаленій від точки нульових спотворень c на r_c , при напрямі, відхиленому від головної вертикалі на кут ν , дорівнює:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{H} \left(1 - \frac{r_c \sin \alpha_0 \cos \nu}{f} \right)^2,$$

де r_c – відстань від точки нульових спотворень c до точки знімка,

α_0 – кут нахилу знімка,

ν – кут між напрямом на знімку, виміряний в точці c від головної вертикалі проти ходу годинникової стрілки.

1.7. Фотосхеми

1.7.1. Поняття щодо фотосхем та їх використання

Фотосхемою називається фотографічне зображення місцевості, складене з планових аерофотознімків. Фотосхему рівнинної або рівнинно-пагорбистої місцевості можна розглядати як наближений фототопографічний план. На фотосхемі більш детально, ніж на топографічному плані, зображуються контури місцевості і окремі елементи рельєфу – котловини, лощини, яри і т. інш. Разом з тим фотосхемі властиві ті ж спотворення, що і аерофотознімку – за кут нахилу і рельєф місцевості, різномасштабність, а також похибки за рахунок розрізання і укладання знімків на основу.

Фотосхеми використовують при польовому дешифруванні об'єктів місцевості, особливо, якщо на фотознімках зображений лінійний об'єкт більшої протяжності ніж один аерознімок, у географічних, геологічних і інших

дослідженнях, а також при виконанні попередніх інженерно – проектувальних робіт. В окремих випадках, коли допускається менша точність вимірювань, ніж на топографічних картах, фотосхеми використовують для розв’язування вимірювальних задач, наприклад, для визначення віддалей і площ.

Центральна частина знімка містить менше спотворень, і тому її називають робочою площею знімка. *Межі робочої площі проходять через середини поздовжнього і поперечного перекриттів.* Тому фотосхеми складають тільки з робочих площ аерофотознімків.

Розрізняють маршрутні і багатомаршрутні фотосхеми. Багатомаршрутну фотосхему виготовляють із аерознімків декількох маршрутів.

При монтажі фотознімків застосовують два способи:

- 1) за початковими напрямками;
- 2) за контурами.

Найбільш точний з них – перший, а найбільш швидкий – другий. Для виготовлення маршрутної фотосхеми за початковими напрямками на всіх знімках даного маршруту вибирають і наколюють центральні точки, потім переносять їх на сусідні знімки (рис. 1.30).

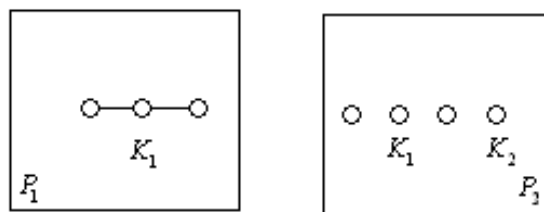


Рис. 1.30 – Початкові напрями і контрольні точки на знімках

Центральною точкою називається будь яка контурна точка, що знаходиться в межах кола, описаного з головної точки знімка радіусом, який визначають за формулою

$$r = f \cdot \frac{\omega}{\alpha_0},$$

де f – фокусна відстань фотокамери;
 ω – гранична величина спотворень напрямів;
 α – кут нахилу аерознімка.

В точках знімка, які не виходять за межі цього кола, кутові спотворення не перевищують заданого значення ω .

Приклад: При $\omega = 6', \alpha_0 = 1^\circ, f = 200\text{мм}, r = 200 \cdot \frac{6'}{1^\circ \cdot 60'} = 20\text{мм}.$

Положення головної вертикалі і точки нульових спотворень на плановому знімку може бути не відоме. Тому використовують коло радіусу r з центром в головній точці o .

На непарних знімках олівцем проводять початкові напрями (рис. 5.1), з'єднуючи центральні точки з точками, які відповідають центральним точкам сусідніх знімків. Посередині поздовжніх перекриттів поблизу початкових

напрямів наколюють по одній контрольній точці k_1, k_2 , і т.д. На парних знімках пуансоном пробивають отвори на всіх наколотих точках.

Під час монтажу такої фотосхеми перші два знімки кладуть на основу так, щоб верхнім був знімок з пробитими отворами. Центр отвору k з'єднують з відповідним наколом на нижньому знімку і, обертаючи верхній знімок, добиваються, щоб початковий напрям пройшов через центри відповідних отворів, пробитих на верхньому знімку.

Притиснувши знімки тягарцями, розрізають їх по середині перекриття. Забирають обрізки і приклеюють знімки до основи, якою має бути аркуш паперу середньої щільності.

1.7.2. Методика виготовлення одномаршрутної фотосхеми за контурами

Для виготовлення фотосхеми і обчислення її очікуваної точності необхідні:

- 1) контактні відбитки аерофотознімків одного маршруту;
- 2) топографічна карта;

Необхідно знати параметри аерофотознімання:

- фокусну відстань аерофотокамери f ;
- висоту фотографування H над середньою площиною ділянки;
- відхилення від середньої висоти фотографування ΔH ;
- максимальний кут нахилу знімка α_{\max} ;
- формат знімків (18×18см)
- поздовжнє перекриття знімків P_x ;
- поперечне перекриття знімків P_y .

Величину коливань висот точок на місцевості $h_m = Z_{\max} - Z_{\min}$ визначають по топографічній карті. Необхідно також мати дошку для монтажу, основу, скальпель, тягарці, голки, металеву лінійку і клей.

Очікувана гранична похибка фотосхеми залежить, перед усім, від кута нахилу знімка, впливу рельєфу місцевості, а також різниці висот фотографування суміжних знімків. В зв'язку з тим, що відрізки ліній на суміщених знімках складаються з двох частин, кожна з яких містить спотворення. Очікувана гранична похибка m_{zp} обчислюється за формулою:

$$m_{zp} = \sqrt{2(\delta r_{\alpha_0}^2 + \delta r_h^2 + \delta r_{\Delta H}^2)},$$

де $\delta r_{\alpha} = -\frac{r^2 \cdot \sin \alpha_0 \cdot \sin \varphi}{f}$ – гранична похибка точки на аерознімку через

кут його нахилу;

$$\delta r_h = \frac{r \cdot h_m}{H} \text{ – похибка через вплив рельєфу;}$$

$\delta r_{\Delta H} = \frac{r \cdot \Delta H}{H}$ – похибка, обумовлена відхиленням від середньої висоти

фотографування H .

В свою чергу:

f – фокусна відстань фотокамери;

$\Delta H = H - H'$, H' – фактична висота фотографування.

Величину радіусу r визначають, як віддаль від головної точки аерознімка до кута робочої площі, обмеженої середніми лініями перекриття. Для цього використовують величини $P_x, \%$; $P_y, \%$ і кут φ , який вимірюють транспортом від осі абсцис (x) до кута робочої площі знімка (рис. 1.31).

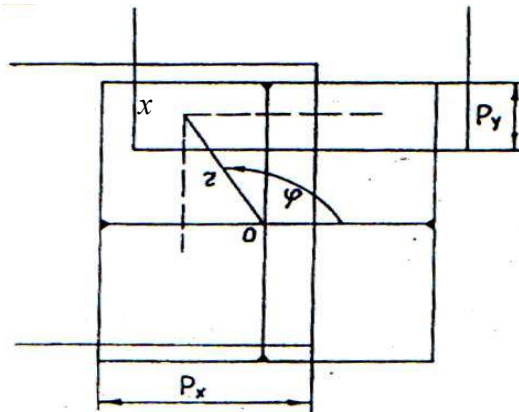


Рис. 1.31 – Визначення радіуса r

Виготовлення фотосхеми

Виготовлення фотосхеми виконується в такій послідовності:

- 1) укладання аерофотознімків;
- 2) розрізання знімків;
- 3) наклеювання центральної частини аерознімків на основу.

Монтаж проводять на креслярські дошки або на спеціальному столі. Сусідні знімки накладають і з'єднують способом «мигання». Поклавши правий знімок на монтажний стіл, тягарцями закріплюють його праву частину. Лівий знімок накладають на правий і швидким підніманням – опусканням добиваються злиття однойменних контурів на обох знімках. З'єднання контролюють по двох контурах, розміщених посередині перекриття, тобто на лінії, де проходить поріз.

Поріз знімків виконується одним з двох варіантів: індивідуальним або сумісним. Обидва знімки ріжуть приблизно посередині перекриття. Лінія порізу може бути хвилястою, проходити через великі контури, перетинаючи під прямим кутом лінійні елементи ситуації (дороги, ріки, канали). Поріз не може проходити через дрібні контури (будівлі, окремі дерева тощо).

Центральні частини знімків наклеюють на папір, з'єднуючи контури і порізи. Склеювання починають із середніх знімків маршруту. Найкраще використовувати клей для гуми, який не коробить знімків. Потім обрізують зовнішні краї фотосхеми (рис. 1.32).

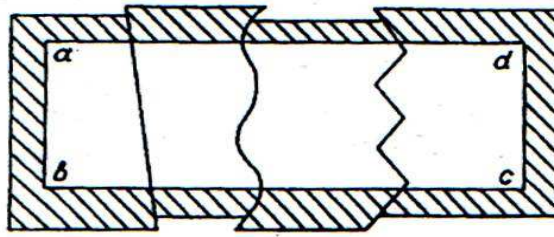


Рис. 1.32 – Обрізування країв фотосхеми

Зовнішній поріз виконують, відкладаючи з усіх сторін половину поздовжнього і поперечного перекриттів знімків.

1.7.3. Контроль і оцінка точності монтажу фотосхеми

Для контролю фотосхеми використовують ті частини знімків, які залишились після порізу і наклеювання. Для кожного шва використовують один з обрізків. Їх по черзі прикладають до кожного порізу, точно з'єднуючи контури на обрізку і на знімку. Потім, вибравши чіткий контур, роблять на обрізку на відстані від порізу приблизно 2 мм, тонкий прокол голкою. Контурні точки наколюють вздовж шва через 1,5-2см в залежності від наявності контурів. Піднявши обрізок, вимірюють відстань Δ між слідом наколу і наколотою точкою на знімку (рис. 1.33). Значення Δ показують на коректурному аркуші і записують в таблицю, а також на зображенні порізу відмічають штрихами положення контрольних точок.

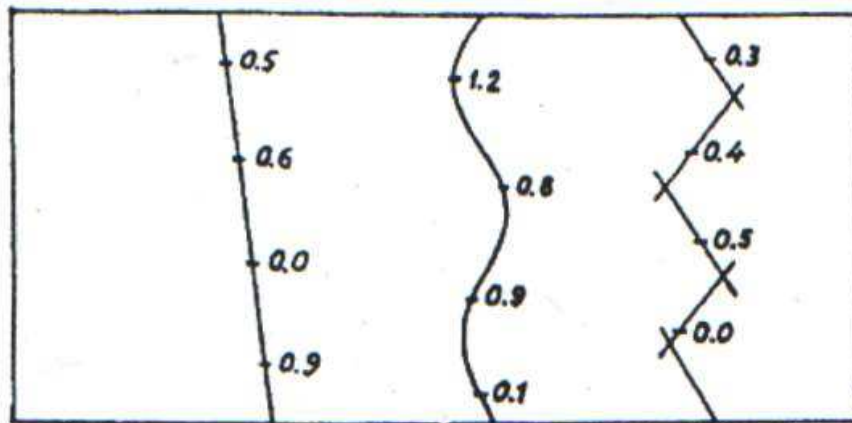


Рис. 1.33 – Результати контролю монтажу фотосхеми

Оцінку точності виконують для всіх порізів, обчисливши середню квадратичну похибку монтажу за формулою:

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{2n}},$$

де n – загальна кількість виміряних розходжень між наколами і положенням відповідних контурних точок.

Порівнявши значення m з попередньо обчисленою похибкою m_{ep} , роблять висновок стосовно якості виготовленої фотосхеми. Фотосхема вважається виготовленою достатньо точно, якщо $m < m_{ep}$.

1.7.4. Визначення масштабу і оформлення фотосхеми

На фотосхемі вибирають по дві пари контурних точок, які добре відображені на топографічній карті. Кожна пара точок повинна знаходитись так, щоб лінія, яка з'єднує ці точки, проходила через всю фотосхему.

Довжина цієї лінії є базисом для визначення масштабу. Другий базис необхідний для контрольного визначення масштабу фотосхеми за іншим напрямом.

Масштаб фотосхеми визначають за формулою

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{l_k \cdot M},$$

де l і l_k – відповідно довжини базисів на фотосхемі і на топографічній карті;

M – знаменник масштабу карти.

Обчислюють середній масштаб за двома напрямками

$$\frac{1}{m} = \frac{2}{m_1 + m_2},$$

де m_1 і m_2 – знаменники масштабів фотосхеми з двох вимірювань і обчислень.

2. ОБРОБКА БЛОКУ ТА СТЕРЕОПАРИ ЗНІМКІВ

2.1. Стереоскопічний зір, вимірювання знімків і моделі

2.1.1. Основи стереоскопічного зору

Для визначення координат точок місцевості по фотознімках, потрібно їх вимірювати. З даних природою людині органів чуття, особливе значення для цього має зір. Забезпечується воно системою очі – мозок.

Око людини цей складний і досконалий оптичний пристрій (рис. 2.1).

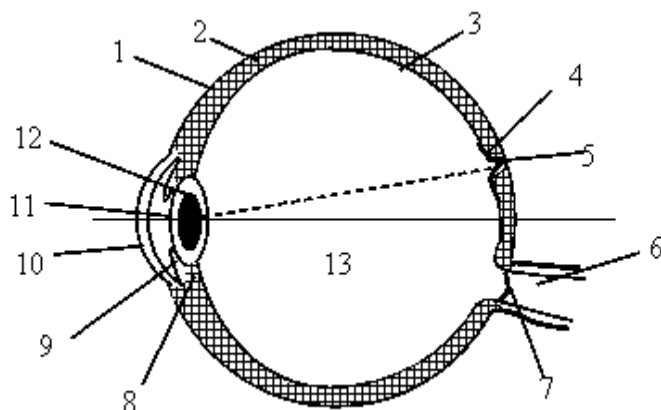


Рис. 2.1 – Схема будови ока

Око має форму, що наближається до кулі з радіусом близько 12 мм; його поверхня складається з трьох оболонок. Зовнішня захисна оболонка ока (склера) 1 в передній своїй частині переходить в тонку і прозору рогівку 10.

Під склерою знаходиться судинна оболонка 2, яка переходить непрозору райдужну оболонку 9. Вона має фарбувальні речовини (пігменти), що визначають колір очей. Спереду райдужної оболонки знаходиться зіниця 11 – (отвір 2-8 мм діаметром), яка виконує роль діафрагми і регулює кількість світлового проміння, що надходить в око. Третя (внутрішня) оболонка 3 – сітківка складається з фоторецепторів – великого числа світлочутливих елементів (колб і паличок), що передають своє подразнення через нервову систему в мозок спостерігача. Палички чутливі до слабкого смеркового освітлення, колби – до денного, яскравого світла і володіють кольорочутливістю. Місце входження зорового нерва в сітківку носить назву сліпої плями 7, оскільки воно не має колб і паличок і не реагує на світлове роздратування. У середині сітківки напроти зіниці знаходиться жовта пляма 4, що є найчутливішою частиною сітківки. Центральне поглиблення жовтої плями 5 складається з одних колб. Діаметр западини жовтої плями складає приблизно 0,4 мм, діаметр колби приблизно 2 мкм.

Спереду очі за зіницею розташований кришталік 12, що є двоопуклою лінзою. Він будує на сітківці дійсне, зменшене і зворотне зображення

спостережуваного об'єкту. Таким чином, його призначення аналогічно об'єктиву фотоапарата. Сітківка виконує таку ж роль, що і матриця ПЗС.

Різкість зображення на сітківці досягається за допомогою акомодациї кришталіка (зміна його кривизни, те, що відбувається рефлекторне). Чим ближче знаходиться даний предмет, тим більшою повинна бути кривизна поверхні кришталіка. Здійснюють акомодацию *очні м'язи* 8. Вони не напружені, якщо даний об'єкт знаходиться в нескінченності (більше 10 м). При цьому фокусна відстань кришталіка рівна приблизно 16 мм. Але при спостереженні на такій відстані упускаються дрібні деталі. Оптимально, коли і деталі видно і м'язи не дуже напружені. Такі умови для нормального ока виконуються на *відстані найкращого зору* (близько 25 см).

Простір між рогівкою і кришталіком наповнений «водянистою вологою», а між кришталіком і сітківкою - «склоподібною вологою» 13, Їх коефіцієнти заломлення приблизно рівні між собою.

Промінь, що проходить через центр западини жовтої плями і задню вузлову точку оптичної системи ока, називається зоровою віссю ока, а пряма, яка проходить через центри кривизни поверхонь рогівки і кришталіка – його оптичною віссю. Кут між цими осями рівний 5° .

Поле зору нерухомого ока складає 150° по горизонталі і 120° по вертикалі. У його різних частинах зображення сприймається з різною чіткістю. Краще видно ті предмети, які потрапляють на центральну ямку сітківки.

Кут, під яким видно діаметр центральної ямки жовтої плями з вузлової точки кришталіка, називається *точкою виразного зору*. Він дорівнює $1,5^\circ$.

Подразнення світлом паличок і колб викликає зорове відчуття, якщо довжина електромагнітних хвиль знаходиться в межах 360 – 760 нм. Максимальна чутливість до жовтої частини спектру, приблизно 555 нм.

Розрізняють два види зору: монокулярний і бінокулярний.

Монокулярний зір

Монокулярним зором називається зір одним оком. Спостерігач звичайно підсвідомо повертає око так, щоб зображення об'єкту виявилось на поглибленні жовтої плями. Перетин зорової осі ока з даним об'єктом називається точкою фіксації *F* монокулярного зору. Для оптичних спостережень і вимірювань важливу роль виконує *гострота зору*, тобто здатність неозброєного ока сприймати дві розташовані поряд точки або лінії як різні елементи.

Гостротою монокулярного зору першого роду називається мінімальний кут, під яким спостерігач ще бачить роздільно дві точки, що світяться, Для нормального ока цей кут рівний приблизно $45''$ (коливається в межах $0.5^{11} - 10^1$).

Гостротою монокулярного зору другого роду називається мінімальний кут, під яким людське око бачить роздільно дві паралельні лінії (приблизно рівна $20''$). Це пояснюється тим, що зображення ліній сприймається не одною, а цілою групою колб.

При монокулярному зорі про віддаленість спостережуваних предметів можна судити тільки по непрямим ознаках (відносний розмір предметів, світло і тіні, перекриття, перспектива, візуальні контрасти, паралакс рухів, детальність

зображень і т.д.). Вказані ознаки оцінки просторової глибини при монокулярному зорі дають наближене, а іноді невірне уявлення про відстані

Бінокулярний зір

Бінокулярним зором називається просторове сприйняття, що виникає при розгляді об'єкту двома очима. В цьому випадку спостерігач встановлює очі так, щоб зображення об'єкту опинилося в центральних ямках f_1 і f_2 обох очей (рис. 2.2). Тому зорові осі очей перетинаються в тому місці об'єкту, яке спостерігач бажає виразно розглянути. Точка перетину зорових осей називається *точкою фіксації F бінокулярного зору*.

Відстань b між центрами кришталіків лівого і правого очей – *очний базис*. Він у людей різний і коливається в межах від 55 до 72 мм.

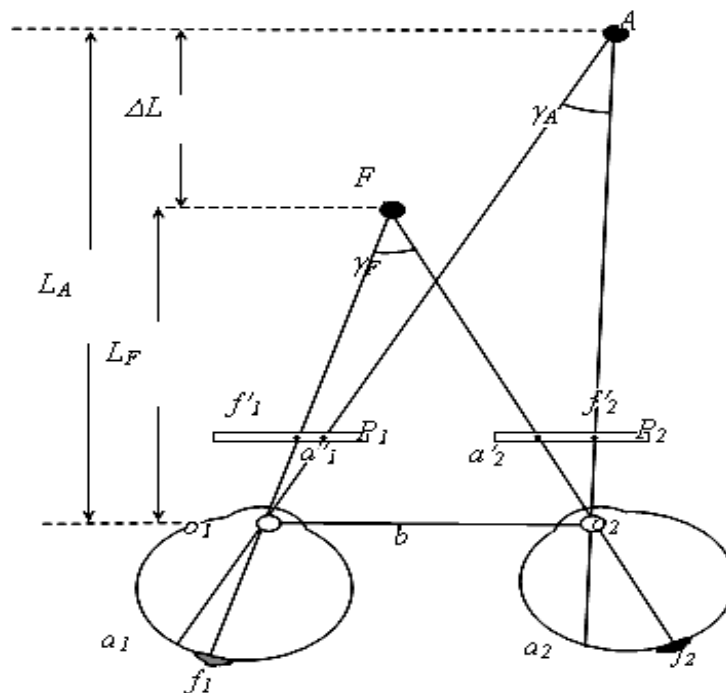


Рис. 2.2 – Бінокулярний зір

Кут γ_F , під яким перетинаються зорові осі, називається *кутом конвергенції* (збіжності). Його величина залежить від відстані L точки F :

$$\gamma_F = b / L, \quad (2.1)$$

Кут γ_A , під яким перетинаються відповідні промені, називається *паралактичним кутом*.

Розміри жовтої плями дозволяють побачити при даному положенні очей і інші точки (рис. 2.2). Зображення a_1 і a_2 точки A об'єкту, одержані на сітчатці очей, називаються відповідними точками, а промені $O_1 a_1$ і $O_2 a_2$ – відповідним променями. Нерівність кутів γ_F і γ_A викликає нерівність дуг $\cup f_1 a_1$ і $\cup f_2 a_2$ одержаних в межах жовтої плями лівого і правого очей. Їх алгебраїчна різниця називається *фізіологічним паралаксом* і позначається як p :

$$p = \cup f_1 a_1 - \cup f_2 a_2$$

Дуга вважається *позитивною*, якщо вона знаходиться зліва від центральної ямки.

Наявність фізіологічного паралакса є причиною просторового сприйняття при стереоскопічному зорі.

Абсолютна величина кута конвергенції відчувається з невисокою точністю, тому і відстань до точки, що спостерігається, визначається приблизно. У той же час зміни величин паралактичних кутів щодо кута конвергенції сприймаються з високою точністю. Це дозволяє визначити зміни відстані інших точок щодо точки фіксації також з високою точністю. Різниця відстаней сприймається людиною за умови:

$$\delta\gamma = |\gamma_F - \gamma| \leq 70'.$$

Якщо ця умова не виконується, то людина змінює точку фіксації.

Для визначення співвідношення між змінами відстані і кута конвергенції відповідно до (2.1) запишемо:

$$\Delta L = -b \Delta \gamma / \gamma^2 = -L^2 \Delta \gamma / b .$$

Горонтар – це геометричне місце точок в просторі, які, при заданому положенні точки фіксації, дають зображення на симетричних точках фіксації. Для всієї решти точок, у вказаних вище межах і виникає фізіологічний паралакс.

Гостротою або роздільною здатністю стереоскопічного зору називають найменше значення $\Delta \gamma$ (або фізіологічного паралакса p), при якому ще відчувається різниця відстаней ΔL ,

Гострота стереоскопічного зору першого роду – це мінімальна різниця паралактичних кутів двох точок, при якій ще сприймається різниця відстані (приблизно 30").

Гострота стереоскопічного зору другого роду – це мінімальна різниця паралактичних кутів для двох вертикальних прямих, при якій ще помічається різниця їх відстаней (дорівнює 10").

Ці характеристики міняються залежно від індивідуальних особливостей спостерігача, а так само від умов спостереження - освітленості, контрастності об'єктів, їх форми і т.п.

Використовуючи поняття *гостроти стереоскопічного зору*, визначають радіус R неозброєного бінокулярного зору. Так, прийнявши $\gamma_F = 30''$ і $b = 65$ мм, одержимо:

$$R = (65 \text{ мм} \cdot 200\,000'') / 30'' = 430 \text{ м}.$$

Якщо для спостереження об'єктів очний базис B штучно збільшений, зростає і радіус стереоскопічного зору в $w = (BV) / b$ разів.

Величину w називають коефіцієнтом пластичності приладу.

2.1.2 Стереоскопічний ефект. Прості стереоприлади

Стереоскопічний ефект

Просторове сприйняття можна одержати не тільки при безпосередньому розгляді об'єкту в природі, але і при розгляді стереопари знімків цього об'єкту.

Уявимо собі, що з точок S_1 і S_2 зроблені два знімки P_1 і P_2 даного об'єкту (точки F і A , рис. 2.3) Поставимо ці знімки перед очима спостерігача так, щоб проєктуюче проміння проходило через зображення відповідних точок на знімках (точки a'_1, a'_2 , и f'_1, f'_2).

При розгляданні кожного знімка (лівого P_1 - лівим оком, а правого P_2 - правим) зображення точок об'єкту виходять в тих же точках сітки, що і при розгляді самого об'єкту, і унаслідок різниць фізіологічних паралаксів виникає враження об'ємного зображення.

На рис. 2.3 показано ділянку земної поверхні, яка сфотографована з двох точок S_1 , і S_2 . У результаті одержана пара знімків P_1 і P_2 (стереопара), на яких a_1 і a_2 – зображення точки A об'єкта, b_1 і b_2 – відповідно зображення точки B .

Щоб одержати модель об'єкта достатньо придати знімкам те положення, яке вони займали один відносно другого під час знімання, і відновити по ним зв'язки променів, що існували в момент фотографування. Тоді кожна пара відповідних променів, наприклад, S_1a_1 і S_2a_2 , а також S_1b_1 і S_2b_2 буде перетинатися в точках A і B . В результаті такого перетину променів утворюється модель, подібна до об'єкту.

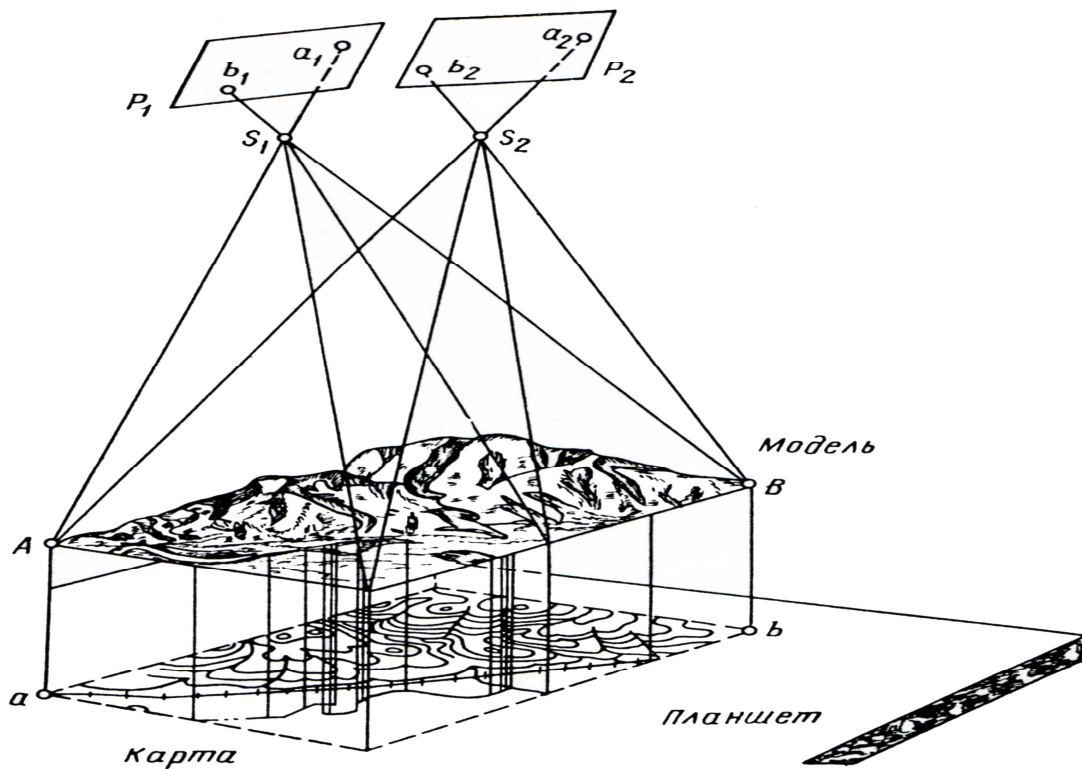


Рис. 2.3 – Стереопара знімків, модель ділянки місцевості та її зображення на топографічній карті

Змінюючи відстань між вершинами S_1 і S_2 , можна одержати модель в заданому масштабі.

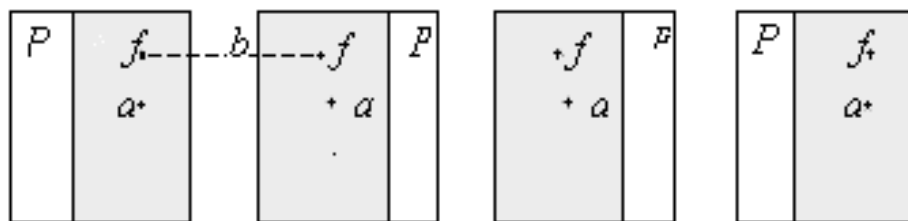
На планшеті точка a (рис. 2.3), яка одержана в результаті ортогонального проектування точки A моделі, показує положення відповідної точки об'єкта на карті. Метод вимірювання об'єктів, який ґрунтується на використанні властивостей пари знімків, називається *стереофотограмметричним*.

Просторове сприйняття об'єкту при бінокулярному розгляді пари знімків, що одержані з різних точок простору, називається *стереоскопічним ефектом*, а сприймана при цьому уявна картина – стереоскопічною моделлю.

Для отримання стереоефекту також необхідно щоб:

1. Різниця масштабів знімків стереопари не повинна перевищувати 16 %.
2. Кожним оком спостерігався тільки один із знімків.
3. Кут, перетину відповідних променів, не повинен перевищувати 16° .
4. Положення повинно бути узгодженим з очним базисом розташування знімків на лінії, яка паралельна очному базису.

При розгляданні пари знімків можна одержати прямий, зворотний або нульовий стереоефекти (рис. 2.4).



a – прямий стереозффект, b – зворотний стереозффект

Рис. 2.4 – Схеми розкладання знімків для одержання стереоефекту

Стереоскопічний ефект прямий (природне сприйняття простору), якщо знімки складені перекриттям всередину.

Стереоскопічний ефект зворотний (зворотне сприйняття опуклих і увігнутих форм), якщо перекриття розкладене в різні боки.

Стереоефект нульовий, якщо знімки повернути на 90° в різні боки і об'єкт сприймається плоским

Для забезпечення умови отримання стереоефекту – спостереження кожним оком тільки одного зі знімків використовують наступні способи: оптичний, анагліфічний, поляроїдів, мигань та ін.

Оптичний спосіб. Прості стереоприлади

Оптичний спосіб заснований на розділенні зору за допомогою оптичних систем. Цей спосіб має широке застосування у фотограмметрії. Простими оптичними приладами, що дозволяють одержати просторове зображення сфотографованого об'єкту, є стереоскопи.

Лінзові стереоскопи призначені для розгляду малоформатних знімків (6×6 см). Для роботи з аерофотознімками, як в польових, так і в камеральних

умовах, використовують дзеркальні стереоскопи з бінокулярною насадкою або лінзово-дзеркальні стереоскопи.

Лінзово-дзеркальний стереоскоп (рис. 2.5) має дві пари дзеркал 1, 2 і 1¹, 2¹, встановлених під кутом 45° до горизонтально розташованих знімків; і дві лінзи 3 і 3¹. На рисунку пунктиром показано хід центрального проміння, де O¹ і O² – вузлові точки очей (центри кришталиків).

Відстані від центрів лінз 3 і 3¹ до знімків по ходу центрального променя називаються *головними відстанями стереоскопа*, а відрізок між центрами великих дзеркал 2 і 2¹ – *базисом стереоскопа d*.

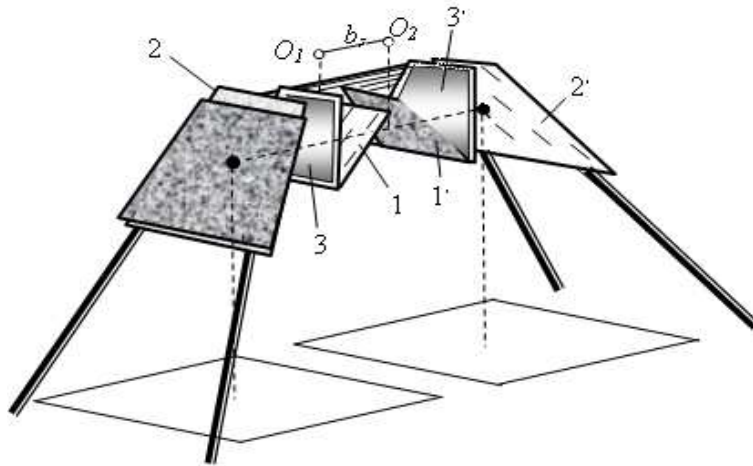


Рис. 2.5 – Лінзово-дзеркальний стереоскоп

При відстані якнайкращого зору 250 мм збільшення стереоскопа $V=250/d$.

Для отримання стереокартини знімки слід встановлювати так, щоб відстань між відповідними точками приблизно дорівнювала довжині базису стереоскопа, а відрізки між парою відповідних точок розташовувалися на одній прямій паралельній його напрямку. Залежно від розташування знімків стереоефект буде прямий, зворотний або нульовий.

У *способі анагліфів* ліве і праве зображення проєктують на один екран через світлофільтри червоний і зелений (синій). Одержана картина розглядається через анагліфічні (червоно-зелені) окуляри. В результаті кожне око бачить тільки одне зображення, а при їх злитті виникає стереоефект в сіро-білих тонах.

У *способі поляроїдів* використовують не кольорові, а світлофільтри поляроїдів з кутом поляризації між ними 90°. Через них розглядають проєктовані на екран поляризовані з таким же кутом зображення. На відміну від анагліфічного способу, поляроїдний може використовуватися для спостереження кольорових знімків, тому використовується в кінематографії.

У *способі мигань* знімки проєктуються на екран *по черзі* за допомогою бленд, що обертаються перед об'єктивами.



Рис. 2.6 – Стереоприставка для спостереження моделі

Такі ж бленди встановлені перед очима спостерігача. Частота обертання обох пар бленд синхронізована і складає не менше 10 мигань в секунду. Спосіб використовується для отримання об'ємної картини і на екрані монітора (рис. 2.6).

2.1.3 Стереоскопічне вимірювання знімків. Параллаксометр і стереокомпаратор

Стереоскопічне вимірювання знімків можна виконувати способом уявної марки, який розроблено в 1899 р. Пульфріхом і використовується для вимірювання координат точок пари знімків і моделі.

Суть способу уявної марки

У площині зображень (знімків) розташовують дві дійсні марки m_1 і m_2 (хрестики рис. 2.7). При їх розгляданні під стереоскопом в одну об'ємну картину зливаються не тільки зображення знімків, але й марок. Спостерігач бачить одну просторову уявну марку M . Це відбудеться тільки у разі, коли кожна з марок m_1 і m_2 буде розташована поблизу відповідних точок (наприклад, a_1 та a_2). Причому, невелике взаємне переміщення дійсних марок (або знімків щодо марок) уздовж осі x викличе переміщення уявної марки по глибині. В результаті здаватиметься що ніби вона «висить у повітрі», або «втоплена в землю». У останньому випадку уявна марка роздвоюється, що дає можливість оцінити поперечний паралакс.

Коли дійсні марки точно суміщені з відповідними точками (наприклад, a_1 та a_2), створюється враження торкання уявною маркою поверхні стереомоделі в точці A . Для того, щоб цього добитися, стереоприлад повинен забезпечувати сумісний рух знімків (дійсних марок) уздовж осей x і y , а також незалежний рух одного із знімків (однієї з марок), уздовж цих же осей.

За наявності відповідних шкал на такому приладі можна *вимірювати паралакси*.

Параллаксометр

Параллаксометр є найпростішим приладом для вимірювання тільки подовжніх паралаксів p точок, (рис. 2.7).

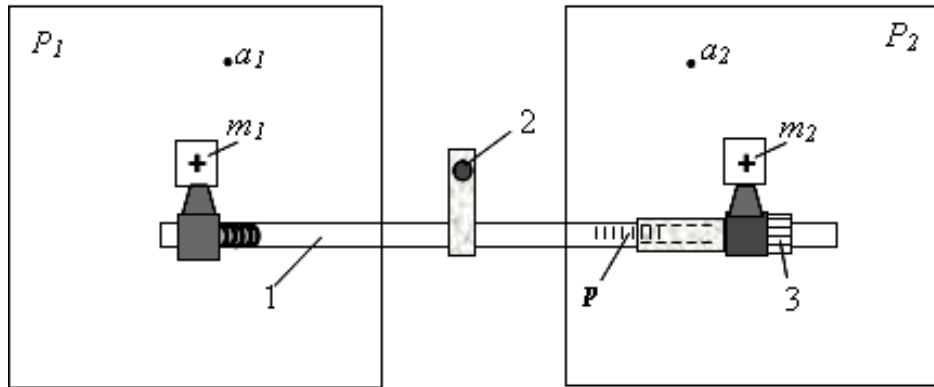


Рис. 2.7 – Параллаксометр

На загальному металевому стрижні 1 розташовані дві скляні пластинки з марками m_1 і m_2 і фіксатор 2. Марка m_2 при обертанні барабанчика 3 переміщується уздовж стрижня.

Величину переміщення можна відлічити: цілі міліметра - за шкалою p на стрижні, десяті і соті частки – по барабанчику 3. Фіксатор 2 служить для наколювання спостережуваних точок на основу (план).

Стереокompatор

Стереокompatор є приладом для вимірювання фотокоординат, подовжнього і поперечного паралаксів (рис. 2.8). Їх конструкції різні, але принципові схеми однакові.

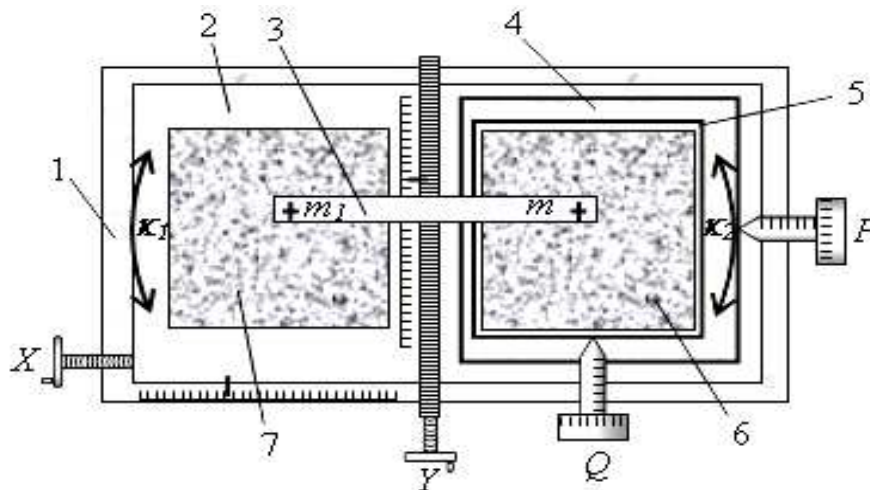


Рис. 2.8 – Стереокompatор

Основними частинами будь-якого стереокompatора є наступні.

Станина 1 з двома взаємно перпендикулярними направляючими X і Y (при вимірюванні наземних знімків – Z). Основна каретка 2, переміщається уздовж направляючої X при обертанні штурвалу X . Величину переміщення

можна визначити за шкалою X . Бінокулярна система 3 з марками m_1 і m_2 , переміщається уздовж направляючої Y при обертанні штурвалу U . Відлік можна узяти за шкалою Y . Каретка подовжніх паралаксів 4 з гвинтом P , при обертанні якого вона переміщається уздовж осі X і який має шкалу для визначення величини переміщення. Каретка поперечних паралаксів 5. При обертанні гвинта Q вона переміщується уздовж осі Y , і за його шкалою можна оцінити величину переміщення. Утримувачі знімків 6 і 7. Їх можна обертати в своїй площині гвинтами k_1 і k_2 .

У стереокомпаратора є освітлювальна система, і регулювання, що забезпечують налаштування бінокулярної системи по очному базису, по оку і по предмету. Форми вимірювальних марок різні, але при збільшенні вони достатньо великі.

У більшості приладів встановлюються марки, що світяться.

Процес обробки знімків на стереокомпараторі включає: установку знімків в утримувачах, їх орієнтування, визначення місць нулів шкал приладу і безпосередньо вимірювання.

Негативи встановлюються емульсією вниз, а діапозитиви – емульсією вгору.

Знімок вважається зорієнтованим, якщо його осі координат паралельні відповідним направляючим стереокомпаратора (рис. 2.9, правий знімок).

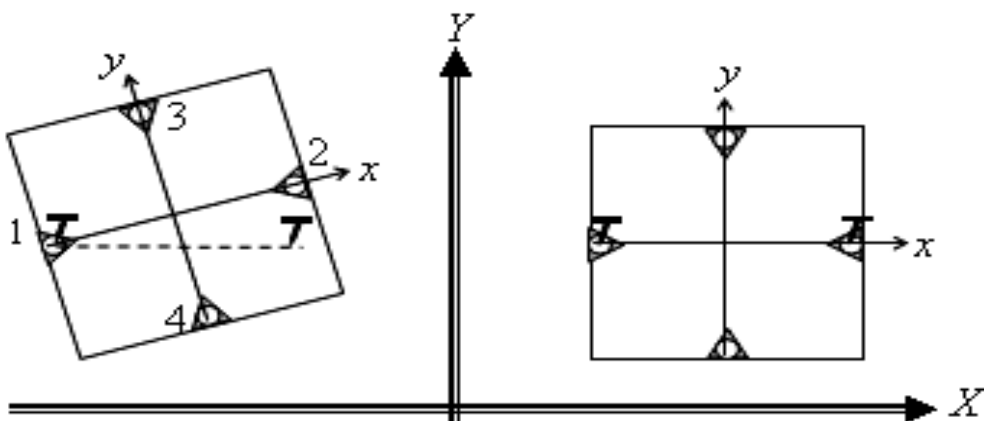


Рис. 2.9 – Орієнтування знімків по координатних мітках

Залежно від способу введення системи координат на знімках, орієнтування виконують по координатних мітках (основний варіант), тоді цей процес незалежний для лівого і правого знімків або по початкових напрямках.

При орієнтуванні по координатних мітках діють в такій послідовності:

1. Штурвалами X і Y , вимірювальну марку суміщають з координатною міткою 1.

2. Штурвалом X марку переміщують у напрямку до координатної мітки 2. Якщо вона точно проходить через мітку, значить знімок (правий на рис. 2.9) зорієнтований.

3. Якщо марка виявилася вище або нижче, її встановлюють на координатну мітку 2, при цьому половину переміщення здійснюють гвинтом до, а половину штурвалом Y .

4. Операцію орієнтування виконують методом послідовних наближень.

При орієнтуванні правого знімка діапазон переміщення каретки по осі X може виявитися недостатнім, у такому разі діють і гвинтом подовжніх паралаксів P . Допустимо також використовувати гвинт поперечних паралаксів замість штурвалу Y .

Після орієнтування приступають до процесу вимірювання знімків.

Процес вимірювання знімків.

Вимірювання знімків полягає у тому, що штурвалами X і Y суміщають вимірювальну марку з вибраною на лівому знімку точкою a_1 , а гвинтами P і Q , праву марку, суміщають з відповідною їй точкою a_2 . Ці операції є *монокулярними* і, після їх виконання, можна брати відліки за шкалами стереокомпаратора. Але якщо розглядати знімки двома очима виникне *стереоефект* – спостерігатиметься *одна просторова марка* і точність наведення можна підвищити наступним чином.

Обертанням гвинта P «утоплюють» просторову марку і вона роздвоюється. В результаті в площині зображення спостерігається одна з картин (рис. 2.10). Розташування марок на різній висоті (рис. 2.10, a, b) свідчить, що спостерігається поперечний паралакс, який треба усунути.

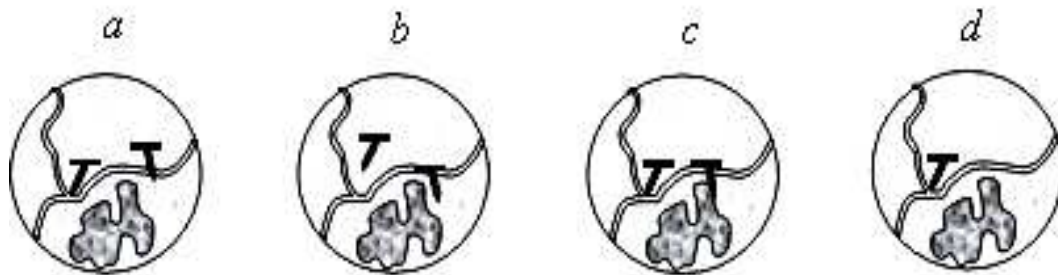


Рис. 2.10 – Усунення поперечного паралаксу

Обертанням гвинта поперечних паралаксів усувають поперечний паралакс (рис. 2.10, c). Гвинтом подовжніх паралаксів підводять марку над точкою, а потім, обертаючи його в протилежному напрямі, суміщають марку з точкою (рис. 2.10, d), після чого і беруть відліки за шкалами стереокомпаратора.

2.1.4 Елементи орієнтування пари знімків і геометричної моделі об'єкта

Елементи зовнішнього орієнтування пари знімків

Пара знімків – це два знімки, отримані з двох різних центрів проєкцій (рис. 2.11) у такий спосіб, що і на лівому, і на правому знімках зобразилась та сама частина об'єкта (території).

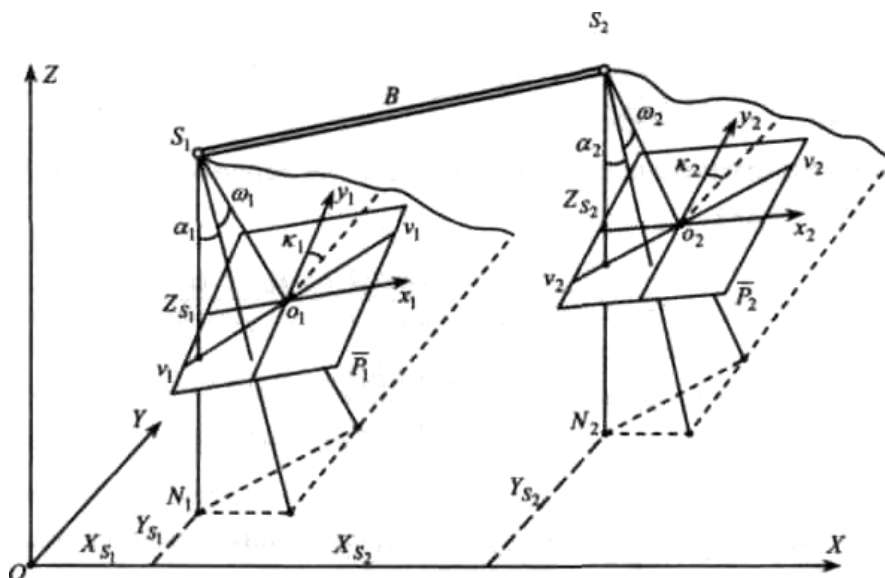


Рис. 2.11. Елементи зовнішнього орієнтування пари знімків

Таку пару ще називають стереопарою, бо розглядаючи знімки під стереоскопом, можна побачити просторову модель об'єкта, тобто відчутти його об'ємність, побачити гори, долини, висоти будинків, дерев. Такі знімки перекриваються між собою, як правило, на 60 % або більше.

Елементи зовнішнього орієнтування (рис. 2.21) – це величини, що визначають розташування лівого і правого центрів проєкцій S_1 та S_2 і відповідних площин лівого \bar{P}_1 та правого \bar{P}_2 знімків у вибраній просторовій системі координат $OXYZ$. Цими елементами є: X_{S1}, Y_{S1}, Z_{S1} – просторові координати лівого центра проєкції S_1 ; $\alpha_1, \omega_1, \kappa_1$ – повздовжній, поперечний кути нахилу лівого знімка \bar{P}_1 та кут його розвороту; X_{S2}, Y_{S2}, Z_{S2} – просторові координати правого центра проєкції S_2 ; $\alpha_2, \omega_2, \kappa_2$ – повздовжній, поперечний кути нахилу правого знімка \bar{P}_2 та кут його розвороту.

Вектор B називають базисом фотографування.

Елементи взаємного орієнтування

Елементи взаємного орієнтування (ЕВО) – це величини, які фіксують те взаємне положення базису фотографування та пари знімків, яке існувало під час фотографування.

Залежно від вибраної просторової системи координат розрізняють дві найпоширеніші системи ЕВО:

- лінійно-кутову, в якій лівий знімок вважається горизонтальним;
- базисну, в якій базис вважається горизонтальним.

Лінійно-кутова система показана на рис. 2.12.

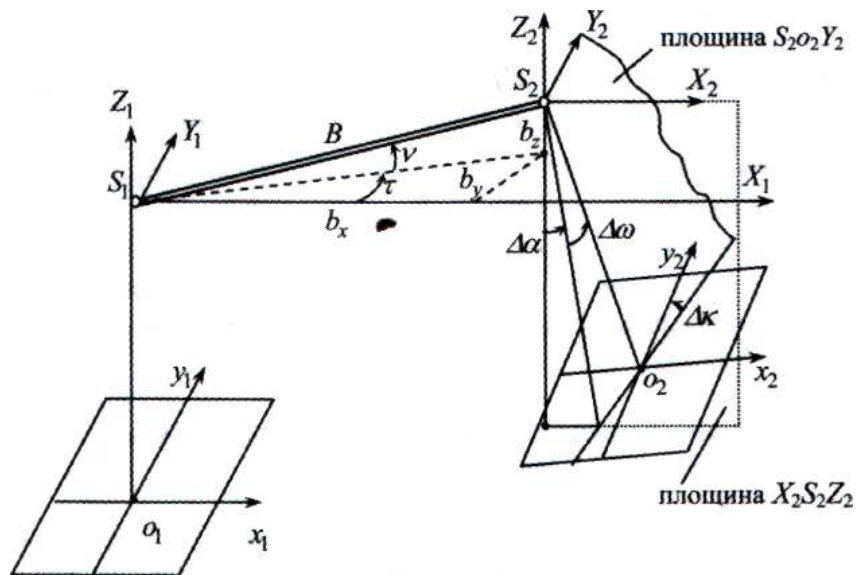


Рис. 2.12. Лінійно-кутова система елементів взаємного орієнтування

Елементами взаємного орієнтування є:

r – дирекційний кут базису фотографування;

v – кут нахилу базису;

$\Delta\alpha$ – поздовжній кут нахилу правого знімка;

$\Delta\omega$ – поперечний кут нахилу правого знімка;

$\Delta\kappa$ – кут розвороту правого знімка.

Базисна система ЕВО показана на рис. 2.13. Елементами взаємного орієнтування є:

$\alpha_{л}, \alpha_{п}$ – поздовжні кути нахилу лівого і правого знімків;

$\omega_{п}$ – поперечний кут нахилу правого знімка;

$\kappa_{л}, \kappa_{п}$ – кути розвороту лівого і правого знімків.

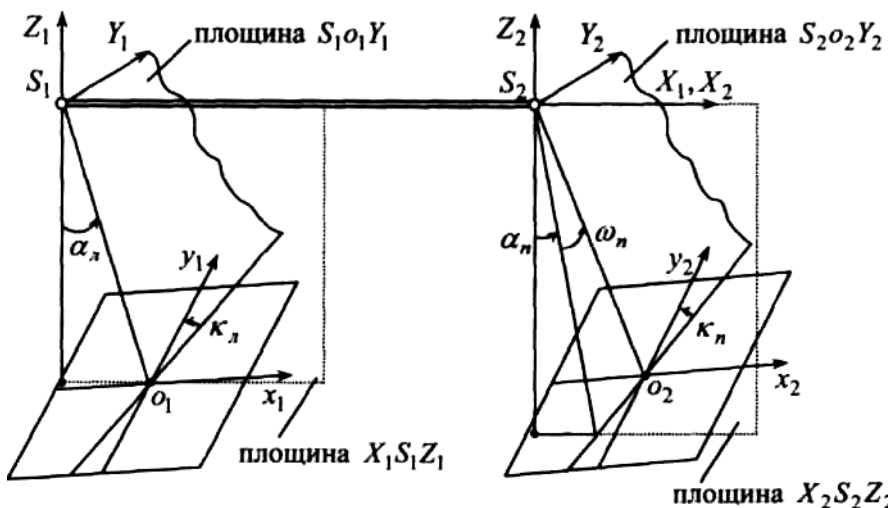


Рис. 2.13. Базисна система елементів взаємного орієнтування

Слід зауважити, що кут $\Delta\kappa$ в лінійно-кутовій системі та аналогічно кут $\kappa_{п}$ у базисній системі не є рівними, тому що система $X_2Y_2Z_2$ в першому випадку та

система $X_2Y_2Z_2$ в другому випадку не збігаються. Площини $S_2O_2Y_2$ в обох випадках є різними.

Правильно відтворене взаємне орієнтування пари знімків на фотограмметричному приладі дає змогу отримати геометричну просторову модель об'єкта, як правило, у довільній фотограмметричній системі координат та у довільному масштабі.

Елементи зовнішнього орієнтування фотограмметричної моделі об'єкта

Побудована внаслідок розв'язання задачі взаємного орієнтування модель об'єкта має *довільне* положення в абсолютній (геодезичній) системі координат. *Масштаб* цієї моделі теж *довільний*, оскільки величина базису проектування S_1S_2 (рис. 2.12 і рис. 2.13) була вибрана довільно.

Нехай $O_3X_3Y_3Z_3$ (рис. 2.14) – геодезична система координат $O_\Gamma X_\Gamma Y_\Gamma Z_\Gamma$.

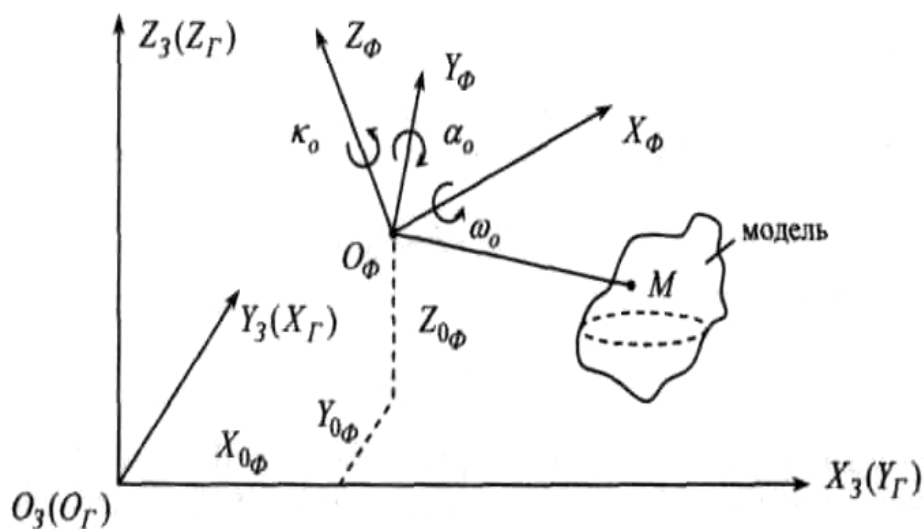


Рис. 2.14. Орієнтування моделі в геодезичній системі координат

Орієнтування моделі M в геодезичній (зовнішній) системі координат визначають такі параметри:

$X_{0\phi}, Y_{0\phi}, Z_{0\phi}$ – перенесення початку системи координат $O_\phi X_\phi Y_\phi Z_\phi$ в початок системи координат $O_3 X_3 Y_3 Z_3$;

$\alpha_0, \omega_0, \kappa_0$ – кути Ейлера, що визначають нахил осей координат двох просторових систем координат;

$1 : t$ – масштаб моделі (який після взаємного орієнтування довільний або невідомий), який необхідно визначити або змінити до заданої величини, наприклад, до масштабу карти.

2.1.5 Визначення просторових координат точки об'єкта за відомих координат зображень цієї точки на двох знімках

Нехай потрібно визначити просторові координати точки об'єкта, якщо відомі координати зображень цієї точки на двох знімках (рис. 2.15).

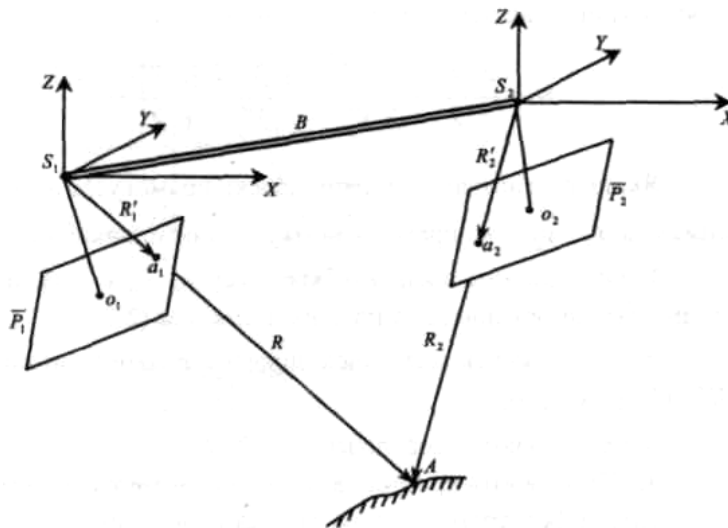


Рис. 2.15. Пряма фотограмметрична засічка

Точка A визначається в системі $SXYZ$ вектором R .

Оскільки вектори R_1' та R колінеарні, то

$$R = NR_1' \quad (2.1)$$

Вектори R_2 та R_2' теж колінеарні. Їхній векторний добуток дорівнює нулю:

$$R_2 \times R_2' = 0 \quad (2.2)$$

Але

$$R_2 = R - B.$$

Тому

$$(R - B) \times (R_2') = 0,$$

або

$$R_2 \times R_2' - B \times R_2' = 0;$$

з урахуванням (2.1) маємо:

$$NR_1' \times R_2' = B \times R_2' \quad (2.3)$$

Шлях розв'язання задачі такий. З (2.3) визначають коефіцієнт N , а з (2.1) – шуканий вектор R .

Після проектування векторів на осі координат отримаємо координати точки A :

$$X = NX_1', Y = NY_1', Z = NZ_1' \quad (2.4)$$

Використовуючи правило векторного добутку двох векторів при проектуванні їх на осі X , Y , Z , отримаємо:

$$N = \frac{B_Y Z'_2 - B_Z Y'_2}{Y'_1 Z'_2 - Z'_1 Y'_2} = \frac{B_Z X'_2 - B_X Z'_2}{Z'_1 X'_2 - X'_1 Z'_2} = \frac{B_X Y'_2 - B_Y X'_2}{X'_1 Y'_2 - Y'_1 X'_2}. \quad (2.5)$$

Якщо на знімках виміряні плоскі прямокутні координати x_1, y_1 на лівому знімку та x_2, y_2 – на правому знімку, то послідовність розв'язання задачі така:

1. Обчислюють напрямні косинуси a_1, b_1, c_1 , для лівого і правого знімків за кутами (a, ω, k) лівого та правого знімків (див. п. п. 1.5.3).
2. Обчислюють для точок лівого і правого знімків просторові координати X', Y', Z' .
3. Обчислюють коефіцієнт N за (2.5).
4. Обчислюють просторові координати точки об'єкта (2.4).

Пряма фотограмметрична засічка ідеального випадку знімання розв'язується так.

Якщо знімки \bar{P}_1 та \bar{P}_2 , а також базис B є горизонтальними, матриці напрямних косинусів для лівого і правого знімків стають одиничними, а $B_Y = B_Z = 0, B = B_X$.

Після введення спрощень у формули, отримаємо:

$$X = B \frac{x_1}{p}, Y = B \frac{y_1}{p}, Z = -B \frac{f}{p}, \quad (2.6)$$

де x_1, y_1 – плоскі прямокутні координати точки a_1 на лівому знімку, p – поздовжній паралакс ($p = x_1 - x_2$).

2.2. Трансформування фотознімків

2.2.1. Призначення і суть способів трансформування знімків

Фотограмметричні задачі простіше розв'язуються по горизонтальних знімках. Горизонтальним знімком рівнинної місцевості можна користуватися як планом.

Горизонтальний знімок можна одержати в камеральних умовах шляхом трансформування похилого знімка. В процесі трансформування часто розв'язується і загальніша задача - по похилому знімку створюється зображення в проекції, відповідній карті, що складається, або плану, наприклад, в ортогональній.

Трансформуванням знімка називається перетворення похилого знімка в горизонтальний знімок заданого масштабу або в зображення, відповідне проекції карти, що складається (плану).

Трансформування знімків можна виконати різними способами: аналітичним, графічним, фотомеханічним, оптичним і графомеханічним.

У кожному з цих способів залежно від початкових даних розрізняють два випадки трансформування знімків: по елементах *зовнішнього орієнтування* (або по установочних елементах) і по *опорних точках*.

Аналітичний спосіб заснований на обчисленні координат точок горизонтального знімка по виміряних координатах точок похилого знімка. При

цьому використовуються формули, що виражають залежність між координатами відповідних точок на горизонтальному і похилому знімках.

До графічних способів відносяться метод складання площин, який дозволяє трансформувати знімки по елементах зовнішнього орієнтування, і пряма проєктивна засічка, яка вирішує цю задачу по опорних точках.

Фотомеханічний спосіб заснований на застосуванні спеціальних приладів - *фототрансформаторів*.

У фототрансформаторі по похилому знімку за допомогою об'єктиву будується на екрані зображення, відповідне горизонтальному знімку. Потім це зображення фіксується на фотопапір.

У *оптичному способі* зображення, відповідне горизонтальному знімку, виходить на планшеті шляхом оптичного проєктування похилого знімка. Деталі цього зображення, підлягаючі відображенню на карті, викреслюють відповідно до прийнятих умовних знаків.

Графомеханічний спосіб теж дозволяє одержати по похилому знімку графічне зображення, відповідне горизонтальному знімку, але для вирішення цієї задачі призначений не оптичний проєктор, а прилад механічного типу.

В наш час найширше застосування мають аналітичний і фотомеханічний способи.

Аналітичний спосіб використовується при побудові фототриангуляційних мереж за допомогою ЕОМ, а *фотомеханічний* - для складання фотопланів.

В деяких випадках знімки трансформують не по абсолютних елементах зовнішнього орієнтування, а по умовних, віднесених до похилої площини, прийнятої за початкову. У цих випадках і трансформовані знімки не горизонтальні, а паралелі початковій площині.

На горизонтальному або трансформованому знімку немає зсувів, викликаних нахилом знімка, але залишаються зсуви, обумовленні рельєфом місцевості. Якщо місцевість рівнинна, то ці зсуви малі і ними можна нехтувати. При значних перепадах висот, особливо у гірській місцевості, зсуви за рельєф значні. Щоб зменшити ці зсуви до величин, допустимих при складанні карти, знімки горбистих районів трансформують по частинах (по зонах), а знімки гірських районів - шляхом проєктування їх через щілину. При цьому відстань від об'єктиву трансформатора до екрану змінюється для кожної зони або для кожного положення щілини відповідно до рельєфу місцевості.

2.2.2. Фотоплани

Фотоплан – фотографічне зображення місцевості, яке задовольняє по точності вимогам, що пред'являються до плану. Істотна перевага фотоплану в порівнянні з планом вища інформаційна місткість. На фотоплані детальніше і наочно зображуються об'єкти ситуації і елементи рельєфу – яри, промоїни, обриви і ін.

Проте фотографічне зображення контурів відрізняється від умовного зображення їх на карті, а відсутність горизонталей на фотоплані не дозволяє

визначати висоти точок місцевості. Тому часто на фотоплані викреслюють по умовних знаках населені пункти, дороги і інші основні елементи місцевості і проводять горизонталі. Такий документ, який поєднує фотоплан, з картою називається *фотокартою*.

Фотоплан складають по *трансформованих* знімках шляхом монтажу їх на основу по опорних точках, одержаних в полі або в результаті побудови фотограмметричної мережі.

За відсутності польових опорних точок виготовляють неорієнтовані фотоплани, використовуючи вільну фотограмметричну мережу.

Залежно від рельєфу місцевості трансформування знімків виконують на фототрансформаторі або на щілистому фототрансформаторі.

Якщо місцевість рівнинна або горбиста, то застосовують фототрансформатор. При цьому знімки трансформуються по одній або двох-трьом зонах. У гірській місцевості трансформування по зонах малопродуктивне і не забезпечує необхідну точність фотоплану. В цьому випадку застосовують щілисте трансформування, в результаті якого одержують фотографічне зображення місцевості, практично не відмінне від ортогональної проекції.

Знімки горбистої місцевості з крупними формами рельєфу можна трансформувати і на гірському трансформаторі, заснованому на побудові зворотної моделі місцевості.

Планові знімки рівнинного району можна не трансформувати, а тільки приводити до масштабу, якщо при аерофотозніманні застосовувалася гідростабілізація аерофотоапарата і кути нахилу знімків не перевищують допустимої величини.

Найперспективнішою є цифрова обробка скануючих знімків. Якщо на дану ділянку є цифрова модель рельєфу, яка досить добре описує поверхню, то можна одержати ортофотоплан.

2.3. Дешифрування знімків

2.3.1. Поняття про дешифрування

Дешифруванням називається розпізнавання по фотозображенню об'єктів місцевості, необхідних для складання плану або інших цілей, і виявлення змісту з позначенням їх на знімках (ортофотопланах) в умовних знаках з урахуванням якісних і кількісних характеристик

Всі елементи місцевості при однаковій їх освітленості мають різну спектральну відбивну здатність, завдяки чому їх зображення на аерофотознімках розрізняються по фотофону, структурі малюнка і ін.

Крім того, на знімках до певної міри зберігається подібність і співвідношення розмірів об'єктів, незмінність їх взаємного розташування і т.п. Таким чином, фотозображення місцевості має цінні зображувальні властивості, що виділяють даний об'єкт серед інших.

Можливість розпізнавання зображення об'єкту визначається наявністю граничних ліній з суміжними об'єктами, тональний і колірний контраст яких лежить в межах зорового сприйняття. Збільшення такого контрасту є обов'язковою умовою аерофотографування.

У загальному комплексі робіт із створення топографічної основи дешифрування займає важливе місце і є дуже відповідальним і трудомістким процесом. Від точності визначення по фотозображенню положення об'єктів місцевості, достовірності і повноти їх характеристик в значній мірі залежить і якість плану, що виготовляється.

Залежно від призначення дешифрування підрозділяють на *топографічне* і *спеціальне*. До *спеціального* відносять розпізнавання об'єктів по їх фотозображеннях у сільському господарстві, геології, гідрології і т.п. Універсальність матеріалів аерофотознімання дозволяє у кожному випадку дешифрування виявляти ті особливості і деталі місцевості, які потрібні для вирішення відповідних наукових, інженерних, господарських і інших задач.

При топографічному дешифруванні виявляють і показують умовними знаками всі елементи місцевості, необхідні для створення топографічної карти в заданому масштабі: населені пункти і окремі споруди; закріплені на місцевості опорні геодезичні пункти; мережі гідрографії і дорожньої, лінії зв'язку з їх даними і спорудами, що відносяться до них; природний і культурний рослинний покрив і ґрунти; рельєф місцевості і ін.

При спеціальному дешифруванні, для відповідних служб (землевпорядної, архітектурно-містобудівної, лісової і ін.), виявляють найбільш важливі об'єкти місцевості, – адміністративно-територіальні або господарські межі, породи лісу і ін. з даними, які їх характеризують. При цьому інші елементи місцевості – шляхи сполучення, елементи гідрографії, ліси, болота і т.п. дешифрують з узагальненням і скороченнями їх характеристик.

Залежно від техніки виконання дешифрування ділять на камеральне, польове, комбіноване і аеровізуальне.

Камеральне дешифрування засноване на використуванні зображувальних властивостей фотознімків і вивченні різних допоміжних матеріалів. У ряді випадків (у військовій справі, при вивченні небесних тіл і ін.) камеральне дешифрування є єдино можливим.

Польове дешифрування, виконують безпосередньо на місцевості, має сезонний характер. Воно засноване на порівнянні фотозображення з натурою, і забезпечує необхідну повноту, точність і достовірність результатів на момент дешифрування.

Комбіноване дешифрування поєднує переваги і недоліки польового і камерального дешифрування. Як правило, в зимовий період виконують камеральне дешифрування, а в літній - польову перевірку і уточнення одержаних взимку результатів.

Аеровізуальне дешифрування виконують безпосередньо з борту літального апарату (літака, вертольоту) і застосовують для прискорення

процесу дешифрування великих однорідних масивів з малим числом контурів - лісів, боліт, тундра і ін.

2.3.2. Дешифрувальні ознаки

Дешифруванню об'єктів місцевості сприяють зображувальні властивості фотознімків, що складаються з прямих і непрямих дешифрувальних ознак.

Прямі дешифрувальні ознаки властиві практично всім об'єктам місцевості, що зображуються на знімках даного масштабу. Вони характеризують об'єкт безпосередньо і включають форму, розмір, тон, колір, тінь, структуру і ін.

Форма - одна з основних дешифрувальних ознак, по якій встановлюється наявність об'єкту і його основні властивості. Саме контури об'єкту, або його форма, сприймаються при дешифруванні в першу чергу.

Розрізняють *геометрично визначену* і *невизначену* форму об'єктів. Визначена, геометрично правильна форма є найважливішою ознакою штучних споруд, тоді як невизначена форма характерна для природних об'єктів як площинного характеру (луки, ліси), так і лінійного (струмки, брівки ярів і ін.). Так, профільовані дороги найчастіше зображуються чергуванням прямолінійних ділянок, зв'язаних плавними кривими. Господарські споруди, теплиці, мости і ін. мають прямокутну витягнуту форму.

Форма, не є вирішальним дешифрувальною ознакою: звивистий контур може бути річкою і польовою дорогою; круглий контур може бути зображенням басейну і стогу сіна і т.п.

Розмір уточнює інформацію, яку дає форма. При цьому важливо знати масштаб знімка, що визначає розмір зображення, або мати еталон, що дозволяє порівнювати розміри зображень лісу і озера, окремої споруди і стадіону, і т.п. Звичайно для дешифрування планового знімка достатньо знати середній масштаб фотографування. Для виявлення типу об'єкту завжди, виконують оцінку його розмірів, площі, периметра, відношення площі до периметра і т.д.

Мінімальні розміри зображення об'єктів на аерознімку визначаються його роздільною здатністю, залежною від роздільної здатності об'єктиву і фотоемульсії. При роздільній здатності сучасних знімальних камер на краю зображення не менше 30 ліній на 1 мм а фотоемульсії - порядку 150-200 ліній на 1 мм, сумарна роздільна здатність близько 0,02 мм в масштабі знімка.

Фототон – це ступінь почорніння фотоматеріалу у відповідному місці зображення об'єкту. Він залежить від ряду чинників - відбивної здатності об'єкту, його зовнішньої будови, освітленості, часу зйомки, вогкості, режиму фотодруку і т.п.

Так, сухі дороги і кам'яні забори зображуються майже білими лініями. Освітлені скати дахів будов, суха земля, мости - світло-сірими, майже білими. Водні простори, поглинаючі світло, зображуються темними тонами, і чим більше глибина, тим чорніше. В той же час каламутна, пінна або покрита брижами вода зображується сірим тоном, і тим світліше, чим менше її

прозорість. Грунт зображується тим темніше, чим більше її вогкість; рослинність зображується тим чорніше, чим темніше її забарвлення в природі.

Якщо тон зображення розкласти на 256 градацій, то око людини розрізнятиме тільки 25. Для дешифрування цілком достатньо семи (білий, майже білий, світло-сірий, сірий, темно-сірий, майже чорний і чорний).

Враховуючи нестабільність показника, при дешифруванні фототон оцінюють тільки в поєднанні з іншими дешифрувальними ознаками (наприклад, структурою). Проте саме фототон виступає як основна дешифрувальна ознака, яка контури меж, розміри і структуру зображення об'єкту.

Тінь об'єкту є однією з важливих дешифрувальних ознак. Розрізняють тіні *власні*, утворені в результаті різної освітленості поверхні об'єкту в поєднанні з її нерівностями, і *тіні падаючі*.

Так, різні частини крони дерева, схили даху, яри, насипи, і ін. одержують різну кількість сонячного проміння на одиницю поверхні, що визначає їх густину і структуру. Форма утвореної предметом тіні і її розмір дозволяє судити про висоту дерева, башти або глибини ями, канави, і, отже, і про зміст об'єкту. При цьому на розмір тіні впливає рельєф місцевості.

Падаючі тіні відображають витягнуту форму силуету об'єкту. Цю властивість використовують при дешифруванні огорож, телеграфних стовпів, водонапірних і силосних башт, зовнішніх знаків пунктів геодезичної мережі, окремих дерев, а також різко виражених форм рельєфу.

Колір і його насиченість є найдостовірнішою ознакою, оскільки при зйомці з натуральним відображенням кольорів об'єктів місцевості відповідає кольорам фотозображення. Найкращі результати одержують при дешифруванні спектрально-аерознімків з вищим колірним контрастом.

Структура зображення - найстійкіша пряма дешифрувальна ознака, практично не залежна від умов зйомки. Структура є складною ознакою, об'єднуючою деякі інші прямі дешифрувальні ознаки (форму, тон, розмір, тінь) компактної групи однорідних і різнорідних деталей зображення місцевості на знімку. Повторюваність, розміщення і кількість цих деталей приводять до виявлення нових властивостей і сприяють підвищенню достовірності дешифрування. Важливість цієї ознаки підвищується із зменшенням масштабу знімка.

Існує велика кількість структур, утворених поєднаннями точок, площ, вузьких смуг різної форми, ширини і довжини.

Зерниста структура характерна для зображення лісів. Малюнок створюється сірими плямами округлої форми (кронами дерев) на темнішому фоні, створюваному затіненими проміжками між деревами. Аналогічну структуру має зображення культурної рослинності (садів).

Однорідна структура утворюється однотипною формою мікрорельєфу і характерна для низинних трав'янистих боліт, степової рівнини, глинистої пустелі, водоймищ при спокійному стані води.

Полосчата структура характерна для зображень городів і розораної ріллі і є наслідком паралельного розташування борозен.

Дрібнозерниста структура характерна для зображення чагарників різних порід.

Мозаїчна структура утворюється рослинністю або ґрунтовим покривом неоднакової вогкості і характерна для безладно розташованих ділянок різного тону, розмірів і форм. Аналогічна структура, створювана чергуванням прямокутників різного розміру і густини, характерна для зображення присадибних ділянок,

Плямиста структура характерна для зображень садів і боліт.

Квадратна структура характерна для деяких типів лісових боліт і населених пунктів міського типу. Вона утворюється поєднанням ділянок лісу, розділених світлими смугами болота, і читається як поєднання площ однорідного тону. Таку ж структуру створюють зображення багатопверхових будівель (відносно крупні прямокутники) і елементів внутрішньо кварталної забудови в населених пунктах.

Непрямі дешифрувальні ознаки виникають із закономірностей взаємного розташування об'єктів місцевості через природні умови, їх призначення, господарське використання і т.д.

До *непрямих ознак* відносяться існуючий в природі і взаємозв'язок, що відобразився на знімках, взаємозалежність або *взаємообумовленість* різних об'єктів і явищ і супутніх їм характеристик.

Наприклад, світла звивиста лінія між населеними пункти майже напевно є зображенням стежини; світлі звивисті лінії, що втрачаються в лісі або в полі - польові або лісові дороги; споруда поблизу перетину світлої звивистої смуги (ґрунтової дороги) із залізницею свідчить про наявність тут переїзду; дорога, що обривається на березі ріки, і її продовження на іншому березі указує на наявність броду або парома. Логічний аналіз прямих і непрямих дешифрувальних ознак значно підвищує достовірність дешифрування.

Із зменшенням масштабу аерознімку прямі дешифрувальні ознаки видозмінюються. Так, якщо по знімках масштабу 1:5000 безпосередньо виявляється більшість об'єктів, що дешифруються, то на знімках масштабу 1:10 000 і менше зникають багато малих об'єктів - колодязі, стовпи, репери і ін., а деталі об'єктів середнього розміру стають невиразними.

Непрямі дешифрувальні ознаки достатньо стійкі, і залежать від масштабу у меншій мірі.

Рельєф місцевості дешифрується по характеру зображення елементів гідрографії і геоморфологічної будови місцевості, по тінях і освітленості схилів, з обов'язковим використанням стереоскопів.

Залежно від прийнятої технології виконання робіт, дешифрування виконують на фотопланах, фотосхемах, контактних або збільшених знімках. Зміст робіт, детальна дешифрування і набір характеристик об'єктів визначаються призначенням робіт.

Зміст топографічного дешифрування, його точність, ступінь деталізації, правила відображення об'єктів на знімках і набір їх характеристик регламентуються діючими нормативними документами - інструкціями, керівництвом, зокрема умовними знаками топографічних карт (планів) відповідного масштабу і ін.

Задачі топографічного і сільськогосподарського дешифрування об'єднуються при створенні базової картографічної моделі місцевості, зміст якої відповідає вимогам до топографічної карти масштабу 1:10000, а повнота дешифрування і набір характеристик об'єктів сільськогосподарського призначення визначається документами, що регламентують порядок державного обліку земель.

Сільськогосподарське виробництво пов'язане з культивуванням, в основному, трав'янистої рослинності. У дистанційному вивченні рослинності можна виділити наступні основні напрями:

- вивчення природних кормових угідь;
- дешифрування сільськогосподарських культур, спостереження за їх розвитком, прогнозування врожайності;
- виявлення захворювань і пошкоджень рослин.

Сучасні можливості багатозонального цифрового знімання дозволяють в значній мірі успішно вирішувати практичні задачі, використовуючи спектральні характеристики трав'яної рослинності.

Аналізуючи спектральну відбивну здатність рослин в інтервалі 0,4-2,5 мкм і при правильному виборі параметрів багатозональної знімальної системи і термінів зйомки можна вирішити ряд практичних задач з визначення виду рослин і їх стану.

Велике практичне значення мають дослідження можливості дистанційного вивчення сільськогосподарських культур, особливо зернових, оцінка їх стану і розвитку, прогнозування врожайності.

2.4. Методи і засоби наземної фотограмметрії

2.4.1. Наземна стереозйомка

Наземна стереозйомка (НСС) має деякі переваги перед аерокосмічною зйомкою. При наземній зйомці стаціонарних об'єктів експозиція може мати будь-які значення, отже, можна застосовувати знімальні камери з об'єктивами малої світлосили, які мають високу розподільчу здатність при незначній дисторсії, тобто наземні знімки мають вищі метричні характеристики, ніж аерофотознімки. Окрім цього, при НСС лінійні елементи зовнішнього орієнтування знімків можуть бути одержані з будь-якою точністю. Якщо для зйомки використовують фототеодоліти, то встановлюються з достатньою точністю кутові елементи орієнтування знімків. Все це дозволяє одержати кількісні характеристики об'єктів з точністю більш ніж в 1,5 рази вище, ніж по аерофотознімкам.

Недоліком НСС є низька продуктивність. Проте при створенні великомасштабних карт і планів на гірські райони за наявності прямовисних скель і ущелин, коли при аерофотозніманні виникають мертві зони, наземна стереозйомка незамінна.

Технологія НСС складається з наступних процесів:

- рекогносцировка (вибір точок фотографування, які забезпечують якнайкращий знімальний кадр);
- розрахунок базису фотографування, що забезпечує точність і оптимальний стереоефект;
- геодезичні роботи з визначення координат точок фотографування, координат контрольних точок, довжини, кута нахилу і дирекційного кута базису фотографування;
- горизонтування і орієнтування фотокамери (або цифрової камери);
- фотографування або цифрова зйомка.

Технологія обробки наземних знімків з метою створення карт і планів аналогічна технологіям, вживаним для аерознімків, і здійснюється на тих же фотограмметричних приладах (окрім аналогових приладів з перетвореними зв'язками).

При обробці знімків наземної зйомки слід враховувати, що напрям осей фотограмметричної системи координат по відношенню до знімка відрізняється від напрямку осей фотограмметричної системи, вживаної для аерофотознімків. Це пояснюється тим, що в наземній стереозйомці знімки займають прямовисне положення (або близьке до нього), а в аерофотозніманні - положення, близьке до горизонтального. Напрямок осей фотограмметричної системи, як правило, задають паралельно осям *лівого* знімка стереопари.

В усіх випадках напрям осей фотограмметричної системи паралельний осям знімка. У зв'язку з цим при обробці знімків НСС на аналогових універсальних приладах треба перемкнути на координатографі вісь YY на вісь ZZ координатно-вимірною системи приладу. При обробці знімків на аналітичних і цифрових стереоплоттерах необхідно в алгоритмі аналітичного рішення задачі врахувати зміну напрямку осей координат і значень направляючих косинусів.

Помилки внутрішнього орієнтування знімків НСС чинять істотний вплив на точність побудови моделі, тому калібрування знімальних камер необхідно виконувати перед кожною зйомкою. Особливо це важливо при використуванні цифрових камер, не призначених для фотограмметричних цілей, і неметричних фотокамер. Застосування таких камер бажане тільки як виняток, хоча цифрові камери дозволяють уникнути фотохімічних процесів і автоматизувати обробку знімків.

Застосування спеціальних метричних цифрових камер, безумовно, забезпечить високий економічний і якісний ефект НСС. За наявності таких камер використання класичних фотокамер нерациональне.

Лазери і лазерні сканери застосовуються в різних областях науки і техніки, у тому числі і у фотограмметрії. Проте їх застосування у

фотограмметричних технологіях за останні 10 років не давало істотного ефекту.

У 21-му сторіччі з'явилися наземні лазерні системи сканерів, які дозволяють виконати сканування будь-якого об'єкту через інтервал, заданий елементом розподільчої здатності. В результаті сканування для кожної точки (елементу) об'єкту визначають відстань від центру сканування, напрям (кут) променя по горизонталі і вертикалі і яскравість. За цими даними можна побудувати об'ємну модель об'єкту і визначити по ній будь-які кількісні характеристики об'єкту. Надалі наземні лазерні сканери можуть витіснити наземну стереозйомку за допомогою фотокамер. Проте вартість цих сканерів дуже висока і може окупитися тільки при їх масовій постійній експлуатації. Таких потреб поки немає.

Розташування фотознімку в просторі не змінює існуючі математичні залежності. При цьому наземна фотозйомка має свої особливості.

Система координат на наземному знімку вводиться в основному шляхом використання координатних міток (рис.). Осі на знімку позначені буквами x і z . Його елементами внутрішнього орієнтування є величини f , x_0 і z_0 .

За початок фотограмметричної системи координат найчастіше приймають центр проєкції S , вісь Z встановлюють прямовисно, а осі X і Y - горизонтально.

Кутовими елементами зовнішнього орієнтування знімка є:

φ - кут між віссю Y і проєкцією головного променя на площину SXY (на малюнку він негативний);

ω - кут нахилу головного променя;

κ - розворот знімка в своїй площині, наприклад, кут між головною горизонталлю і віссю x (не показаний).

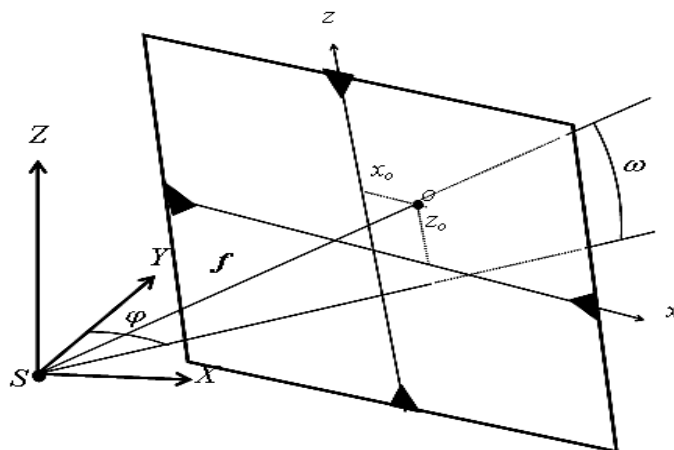


Рис. 2.16 – Елементи орієнтування наземного знімка

При визначенні просторових координат точки на знімку формули матимуть вигляд:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ f \\ z - z_0 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Направляючі косинуси матриці A повороту у вище приведеній формулі отримують як, $A_\phi A_\omega A_\kappa$ за формулами:

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos\phi \cos\kappa + \sin\phi \sin\omega \sin\kappa, \\ a_2 &= -\sin\phi \cos\omega, \quad a_3 = -\cos\phi \sin\kappa + \sin\phi \sin\omega \cos\kappa, \\ b_1 &= \sin\phi \cos\kappa - \cos\phi \sin\omega \sin\kappa, \quad b_2 = \cos\phi \cos\omega, \\ b_3 &= -\sin\phi \sin\kappa - \cos\phi \sin\omega \cos\kappa, \\ c_1 &= \cos\omega \sin\kappa, \quad c_2 = \sin\omega, \quad c_3 = \cos\omega \cos\kappa \end{aligned} \quad (2.8)$$

Якщо осі X і Z просторової фотограмметричної системи координат паралелі відповідним осям x і z знімка і координати головної точки рівні нулю, то, використовуючи їх, можна одержати:

$$X = \frac{Y}{f} x, \quad Z = \frac{Y}{f} z \quad (2.8)$$

Значення координати Y називають *відстоянням*. Відношення відстояння до фокусної відстані знімка є *масштабом зображення*.

Особливістю наземної фототопографії є і те, що при фотографуванні об'єктів елементи зовнішнього орієнтування знімків встановлюються з достатньо високою точністю. Тому часто координати точок місцевості по парі знімків визначають шляхом рішення прямої просторової фотограмметричної засічки. При цьому за початок фотограмметричної системи координат приймають центр проекції *лівого* знімка пари, вісь Y направляють уздовж проекції головного променя на горизонтальну площину, вісь Z – прямовисно, (права система).

Кутові елементи зовнішнього орієнтування ϕ , ω і κ , кожного із знімків стереопари є і елементами самої пари. При цьому ϕ - це кут в *горизонтальній* площині між проекцією на неї головного променя і перпендикуляром до базису фотографування. Тоді лінійні елементи зовнішнього орієнтування лівого знімка рівні нулю, а правими є проекції базису фотографування на осі координат.

Формули прямої просторової фотограмметричної засічки, для пари аерофотознімків справедливі і для пари наземних знімків.

Після отримання координат точок місцевості необхідно виконувати процес зовнішнього орієнтування. У наземній зйомці знімок в процесі фотографування встановлюється прямовисно, тому поворот виконують тільки навколо осі Z .

Елементами зовнішнього орієнтування вважають:

- геодезичні координати початку фотограмметричної системи координат(лівого центру проекції) X_s , Y_s і Z_s ;
- дирекційний кут α головного променя (або базису фотографування α_b); поправку ΔZ_r за кривизну Землі і вертикальну рефракцію. Формули перетворення в цьому випадку мають вигляд:

$$\begin{aligned} X_r &= X_s + Y_s \cos\alpha - X_s \sin\alpha, \\ Y_r &= Y_s + Y_s \sin\alpha + X_s \cos\alpha, \\ Z_r &= Z_s + Z + \Delta Z_r \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.4.2. Основні види наземної стереофотограмметричної зйомки

Дуже часто формули для визначення координат точок місцевості по парі наземних знімків допускають спрощення. Залежно від положення знімків у момент фотографування розрізняють п'ять основних випадків (видів) зйомки: нормальний, рівноухилений (скошений), конвергентний, рівнопохилений і загальний (довільний). У наземній фототопографії найчастіше застосовують два перші.

При *конвергентному випадку* зйомки головні промені знімків горизонтальні, але не паралельні один одному, а осі x на знімках горизонтальні (рис.). Тобто $\phi_l \neq \phi_n, \omega_l = \omega_n = \kappa_l = \kappa_n = 0$.

Кут γ між головним промінням лівого і правого знімків називають *кутом конвергенції*, якщо проміння сходяться, і *кутом дивергенції*, якщо вони розходяться

При системі фотограмметричних координат (рис. 2.17) кутові елементи зовнішнього орієнтування лівого знімка рівні нулю, і, за умови рівності нулю координат головної точки:

$$X'_1 = x_1, Y'_1 = f \text{ і } Z'_1 = z_1 \quad (2.10)$$

Правий знімок розгорнений на кут γ , тому:

$$a_1 = \cos \gamma, a_2 = -\sin \gamma, b_1 = \sin \gamma, b_2 = \cos \gamma, c_3 = 1.$$

Решта направляючих косинусів рівна нулю. Тоді:

$$\begin{aligned} X'_2 &= x_2 \cos \gamma - f \sin \gamma, \\ Y'_2 &= x_2 \sin \gamma + f \cos \gamma, \\ Z'_2 &= z_2 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Відповідно до рис. базисні складові :

$$\begin{aligned} B_x &= B \cos \phi_n, \\ B_y &= -B \sin \phi_n \end{aligned} \quad (2.12)$$

Знаючи скаляр, по формулах (2.12) можна обчислити фотограмметричні координати точок місцевості.

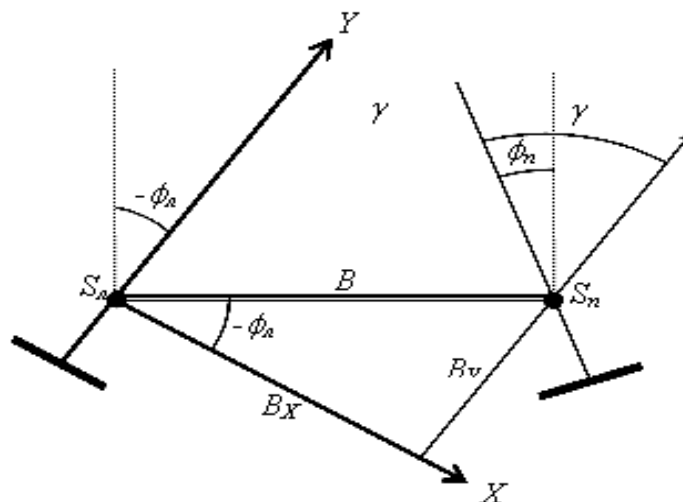


Рис. 2.18 – Конвергентна зйомка

Вираз для скаляра має вигляд:

$$N = \frac{B[x_2 \sin(\varphi_l + \gamma) + f \cos(\varphi_l + \gamma)]}{(x_1 x_2 + f^2) \sin \gamma + f \cos \gamma (x_1 - x_2)} \quad (2.13)$$

Знаючи скаляр, можна обчислити фотограмметричні координати точок місцевості.

У *рівновідхиленому випадку* зйомки кути скосу головного проміння не рівні нулю, але взаємно паралельні, тобто:

$$\phi_l = \phi_n = \phi \neq 0, \quad \omega_l = \omega_n = \kappa_l = \kappa_n = 0.$$

При куті $\gamma = 0$:

$$\begin{aligned} Y &= \frac{B}{p} f \left(\cos \varphi + \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right), \\ Y &= \frac{B}{p} x_1 \left(\cos \varphi + \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right) = \frac{Y}{f} x_1, \\ Z &= \frac{B}{p} z_1 \left(\cos \varphi + \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right) = \frac{Y}{f} z_1, \end{aligned} \quad (2.14)$$

Де p – подовжній паралакс, рівний різниці абсцис відповідних точок лівого і правого знімків.

Якщо випадок зйомки нормальний, всі кутові елементи знімків рівні нулю, то:

$$X = \frac{B}{p} x_1, \quad Y = \frac{B}{p} f, \quad Z = \frac{B}{p} z_1 \quad (2.15)$$

2.4.3. Устаткування для наземного фотографування

У наземному фототопографічному зніманні фотографування місцевості виконують фототеодолітами (рис. 2.19). Фототеодоліти відрізняються за форматом кадру, фокусній відстані і іншим характеристикам.

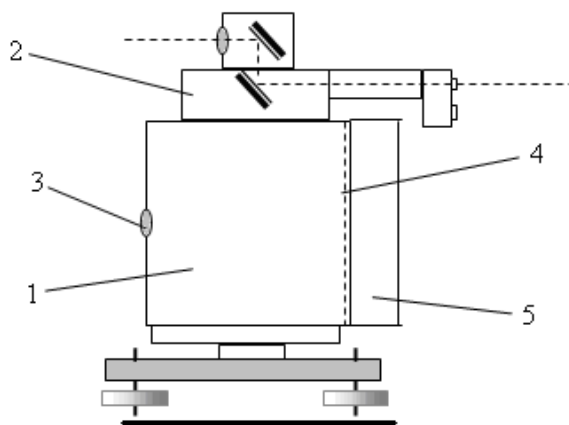


Рис. 2.19 – Фототеодоліт Photheo 19/1318

Фототеодоліт Photheo 19/1318 призначений для фотографування місцевості на вертикально розташовані фотопластини низької чутливості

(оптична вісь камери горизонтальна). Цифри в назві приладу указують приблизну величину фокусної відстані камери і формат знімків в сантиметрах.

Камера 1 має жорстку конструкцію. На ній закріплено орієнтуючий пристрій 2, для приведення оптичної осі в задане положення, та рівні для горизонтування приладу.

Об'єktiv 3 може переміщатися по направляючих паралельно вертикальній осі камери вгору і вниз від центрального положення з кроком 5 мм.

У задній частині у фокальній площині об'єктиву розташована прикладна рамка 4, до якої у момент фотографування притискається фотопластина. Прикладна рамка має координатні мітки з отворами. Вони фіксуються на фотопластині і служать для створення прямокутної системи координат. Крім того, у фокальній площині об'єктиву встановлені реєстратори і індикатори, які дозволяють зафіксувати на кожній фотопластині величину фокусної відстані камери, номер знімка, положення об'єктиву у момент експозиції і напрям φ оптичної осі (вид зйомки). Номери фотознімків (від 0 до 99) встановлюють за допомогою барабанчиків, розташованих на бічній поверхні камери. Показчик виду зйомки має 6 положень:

A – нормальний вид зйомки з лівої точки базису ($\varphi = 0^\circ$);

AL – відхилення вліво ($\varphi = 31.5^\circ$);

AR – відхилення управо ($\varphi = -31.5^\circ$).

B , BL і BR – ті ж варіанти зйомки, але з правої точки базису фотографування. Кути відхилення забезпечують створення плану ділянки без розривів, при мінімальному перекритті.

Кут $\varphi = 31.5^\circ$ називають стандартним. Орієнтирний пристрій – є фактично теодолітом технічної точності. Затвору і пристрою для фокусування фототеодоліт не має.

При рішенні прикладних задач використовуються також інженерні і стереофотограмметричні камери, та неметричні фотоапарати, стереокамери і кінотеодоліти.

2.5. Фотограмметричні технології зйомки ситуації і рельєфу при створенні карт і планів

2.5.1. Вибір фотограмметричного способу зйомки

Для створення карт і планів необхідно виконати зйомку ситуації і рельєфу відповідно до вимог, що пред'являються до даного масштабу інструкціями і умовними знаками. Зйомка може виконуватись геодезичним, фотограмметричним і комбінованим методами. У геодезії в основному застосовується тахеометрична зйомка.

У фотограмметрії використовуються два способи зйомки *ситуації*:

- 1) на універсальних приладах;
- 2) за допомогою фотопланів.

Зйомка рельєфу виконується або на універсальних приладах, або геодезичними методами. Таким чином, на *універсальних* приладах можна виконувати і зйомку контурів, і малювання рельєфу. Цей спосіб застосовується у всіх випадках, якщо він забезпечує точність і є більш економним за інші способи.

Для зйомки контурів при *насиченій ситуації* об'єкту більш продуктивним є спосіб зйомки за допомогою фотопланів.

В цьому способі виключаються особисті помилки оператора при відображенні контурів.

Зйомку рельєфу виконують на універсальних приладах. У решті випадків зйомка і рельєфу, і контурів виконується на універсальних приладах.

Якщо універсальний метод не забезпечує точність по висоті, то зйомка рельєфу виконується за допомогою тахеометра, а контурну частину одержують за допомогою фотопланів або за допомогою універсальних приладів.

Конкретна фотограмметрична технологія зйомки рельєфу і контурів визначається в першу чергу вимогами до точності створюваної карти (плану), а потім наявними приладами і характером місцевості, що картографується. Так, наприклад, у високогірних районах при високих вимогах до точності відображення рельєфу висотна частина створюється тахеометром, а зйомка ситуації - на універсальних приладах.

Створення фотопланів для таких районів пов'язане з великими труднощами і недостатньою точністю при складних формах рельєфу. Можливий також варіант зйомки рельєфу і контурів по знімках наземної зйомки.

2.5.2. Універсальний метод створення карт і планів

В основі фототопографічних технологій лежить вивчення і збір інформації про об'єкти по їх двомірних або тривимірних моделях, побудованих по зображеннях об'єкту. Найефективніше ця задача розв'язується по тривимірних моделях, побудованих на універсальних приладах (аналогових, аналітичних і цифрових).

У 1980-90 рр. у фотограмметричному виробництві СРСР використовувались *аналогові універсальні прилади* (стереопроектори СПР-2, СПР-3, стереографи СД-3, СЦ, стереометрографи і топокарт-ортофот).

Стереографи і стереопроектори - універсальні прилади механічного типу з перетвореними зв'язками проектуючого проміння. Це прилади вітчизняного виробництва з інструментальною точністю вони були призначені для обробки планових аерофотознімків. Стереометрограф і топокарт-ортофот - прилади механічного типу з подібними зв'язками виробництва фірми "Karl Zeiss" (ГДР) використовувались також для обробки планових аерофотознімків і наземних знімків нормального і паралельного випадків зйомки.

Аналогові універсальні прилади забезпечують точність створення карт і планів в масштабах 1 : 5 000, 1:10 000, 1 : 25 000 і дрібніше.

Похідні матеріали для побудови моделі на *універсальному* приладі у всіх випадках однакові: аеронегативи (діапозитиви), елементи внутрішнього орієнтування знімків, координати опорних точок (знімки з опознаками, каталог їх координат), матеріали дешифрування, параметри аерофотознімання (H, f), планшет з координатною сіткою і рамкою трапеції.

Модель можна будувати по *установочних елементах* або по умові компланарності (через взаємне орієнтування знімків).

На аналогових приладах перевагу віддають другому способу, оскільки на цих приладах елементи внутрішнього і зовнішнього орієнтування знімків встановлюються з недостатньою точністю.

По умові компланарності побудова моделі включає наступні процеси:

- внутрішнє і взаємне орієнтування знімків;
- горизонтування і масштабування моделі місцевості.

Після цього виконується зйомка контурів і рельєфу.

Оцінка точності і контроль якості побудови моделі виконується по залишкових поперечних паралаксах і розбіжностях координат на опорних точках, а також по зв'язках суміжних моделей.

В наш час аналогові універсальні прилади замінені аналітичними і цифровими стереоплоттерами.

Аналітичні універсальні прилади (АУП) мають значні переваги перед аналоговими:

- висока точність (1-2 мкм) за рахунок зменшення інструментальних помилок, використання високоточної оптико-механічної системи та обліку всіх видів систематичних помилок з використанням надлишкових вимірювань;
- не накладається ніяких обмежень на елементи внутрішнього і зовнішнього орієнтування знімків;
- велика частина процесів автоматизована;
- можливо вирішувати будь-які фотограмметричні задачі.

Ці прилади використовують в основному для великомасштабних зйомок. АУП незамінні при обробці космічних знімків.

На підприємствах Росії та України в основному використовують: Стереосканаграф - 4, SD-2000, SD-20, TRASTER, ASP, Дікомат.

У Росії широко застосовують прилади SD-20, за ліцензією фірми "Leica". Прилад призначений для обробки аерокосмічних знімків і створення картографічних оригіналів або цифрових карт та планів місцевості. Він дозволяє виконувати збір даних для аналітичної фототріангуляції, створення банків даних земельного кадастру.

Відносні помилки визначення висот складають 1:10000 - 1:12000, похибки положення контурних точок - 9-10 мкм що дає можливість застосування даного приладу для картографування до масштабу 1: 500) і створення баз даних міського кадастру. Принципова схема різних аналітичних плоттерів однакова. Всі вони включають такі блоки і системи:

- оптико-механічну систему, що є прецизійний автоматизований стереокомпаратор;

- комп'ютер;
- блок управління;
- система датчиків стереокомпаратора, передаючих лінійні переміщення по напрямках x , y кареток знімків і об'єктивів через інтерфейс на ЕОМ;
- штурвали координатно-вимірювальної системи (X , Y , Z), обертання яких через датчики і інтерфейс передаються на ЕОМ. У чисельному вигляді ці значення відповідають координатам точок моделі;
- сервомотори, які переміщують каретки знімків і об'єктиви наглядкової системи по значеннях координат x_1, y_1, x_2, y_2 , які обчислені на ЕОМ.

Аналітичні універсальні прилади (плоттери) працюють в двох режимах:

- 1) стереокомпаратора (прямий);
- 2) універсального приладу (зворотний).

У першому режимі виконуються операції внутрішнього і взаємного орієнтування знімків. Оператор наводить марки на координатні мітки для внутрішнього орієнтування і на стандартні точки для взаємного орієнтування. Результати вимірювання координат точок знімка передаються в ЕОМ, де по них обчислюються параметри перетворення координат з системи координат приладу в системи координат знімків. Потім обчислюються перетворені і виправлені за вплив систематичних помилок координати стандартних точок. В результаті розв'язуються рівняння взаємного орієнтування знімків. Контроль рішення виконується по залишкових поперечних параллаксах.

Після завершення взаємного орієнтування знімків включається *режим універсального приладу* (зворотного зв'язку).

У цьому режимі за допомогою штурвалів X , Y , Z і датчиків задаються координати точок моделі у вигляді цифрових сигналів, які в інтерфейсі перетворюються в цифровий код і передаються в ЕОМ.

Використовуючи формули зв'язку координат точок місцевості і знімка (умова колінеарності), обчислюються координати точок на лівому і правому знімках відповідних точок моделі.

Для *зовнішнього орієнтування* моделі штурвалами X , Y , Z наводять марку на опорні точки і визначають їх фотограмметричні координати. Вимірюють X , Y , Z не менше ніж чотирьох опорних точок. Після цього ЕОМ вирішує задачу визначення елементів зовнішнього орієнтування моделі відомим аналітичним способом.

Оцінка точності і контроль якості визначення елементів зовнішнього орієнтування моделі виконується по розбіжностях координат опорних точок. На закінчення обчислюють елементи зовнішнього орієнтування знімків по елементах взаємного орієнтування знімків і зовнішнього орієнтування моделі. Елементи орієнтування знімків визначають в геодезичній або іншій заданій системі координат, і відповідно в цій системі здійснюватиметься зворотна засічка на точки моделі.

Після цього переходять до роботи з моделлю і здійснюють зйомку рельєфу і контурів або в графічному, або в цифровому вигляді.

Для визначення точності побудови моделі вимірюють координати

контрольних точок, вибираючи їх по можливості в різних частинах моделі.

Середні похибки координат контрольних точок в плані не повинні перевищувати 0,3 мм в масштабі карти, а по висоті 0,3 висоти перетину рельєфу.

Для збору топографічної інформації на SD-20 запускають програму Micro Station з блоком PRO 600, призначеним для стереоскопічного збору інформації. Збір інформації про контури виконується стереоскопічно з одночасним дешифруванням і кодуванням об'єктів.

Цифрова інформація про контури збирається по шарах. В процесі збору об'єкти, що викликають сумніви відносно конфігурації і характеристик, фіксують на контрольній і графічній копіях для подальшої польової доробки. Одночасно із збором метричної інформації повинне виконуватися систематичне кодування об'єктів. Для цієї мети використовують класифікатор топографічних об'єктів на відповідний масштабний ряд топографічних карт (планів). Зібрана топографічна інформація зберігається в базі даних по шарах.

У багатьох аналітичних плоттерів є можливість первинного редагування одержаних даних, зокрема зміна форм або створення нового об'єкту з наявних фрагментів. Для цього збирає топографічна інформація візуалізується у реальному часі на екрані монітора.

Перед зображенням рельєфу визначають відмітки характерних точок, які повинні бути підписані на карті з густиною 8-10 точок на 1 дм² карти. Відмітки, що підписуються на карті, визначають як середнє з двох прийомів вимірювань.

Горизонталі одержують в результаті стереоскопічного трасування поверхні стереомоделі вимірювальною маркою, встановленою на висоту горизонталі. Програмне забезпечення візуалізує на екрані монітора положення горизонталей. Одночасно із стереоскопічним малюванням горизонталей визначають чисельні характеристики елементів рельєфу (висоти урвищ, насипів і ін.).

Складений оригінал карти повинен бути зведений з суміжними листами карти. Розбіжності в положенні контурів з чіткими контурами не повинні перевищувати: 1,0 мм - в рівнинних і горбистих районах; 1,5 мм - в гірських і високогірних районах.

Розбіжності в положенні горизонталей на суміжних листах карти не повинні перевищувати полуторної точності відображення рельєфу.

В наш час оптимальними для зйомки контурів і рельєфу є цифрові фотограмметричні станції (ЦФС), які дають можливість автоматизувати процеси внутрішнього і взаємного орієнтування знімків, побудови цифрової моделі рельєфу.

Побудова моделі на ЦФС виконується аналогічно аналітичним плоттерам і по тому ж алгоритму.

Відмінність полягає у тому, що в АУП вимірювання виконують по реальних фотознімках, а на ЦФС – по цифрових зображеннях на екрані дисплея. Для перетворення фотозображення в цифрове повинні використовуватися сканери, що забезпечують високу метричну і фотометричну

якість.

По суті ЦФС є комп'ютером з високим рівнем швидкодії, забезпечений пакетом програм, що забезпечують аналітичну побудову моделі по знімках, перетворення зображення і виконання операцій по формуванню кінцевої продукції. Крім того, у ЦФС повинна бути обов'язково система, що забезпечує стереовимірювання.

Вона може бути реалізована способом мигання, поляроїдів, анагліфів або оптичним. Оскільки вимірювання в ЦФС виконуються на екрані дисплея в цифровому коді (у пікселях) і управляються комп'ютером, то в ЦФС не вимагається оптико-механічної системи (стереокомпаратор), датчиків інтерфейсу і електромоторів, які є головною складовою системи аналітичних плоттерів. Характеристика ЦФС визначається класом комп'ютера, типом сканера і пакетом програм для вирішення фотограмметричних задач.

У країнах СНД в основному використовують ЦФС "Фотомод", "Талка", , "ERDAS", "SDS".

В якості прикладу приведемо характеристики цифрової фотограмметричної станції «Дельта», яка найшла застосування в Україні.

Цифрова фотограмметрична станція «Дельта»

ЦФС "Дельта" створена в Науково-виробничому підприємстві "Геосистема" (Україна). Ґрунтується на стандартному Intel-сумісному комп'ютері з системою Windows 97/2000/ XP. Використовує відеорежими кольорових моніторів з роздільною здатністю від 1024x768 до 1600x 1200 пікселів та вище. Для стереоспостережень використовується або стереоскоп, або Open GL сумісні закриваючі окуляри. Загальний вигляд ЦФС «Дельта» показано на рис. 2.20.



Рис. 2.20 – Цифрова фотограмметрична станція «Дельта»

Програмне забезпечення реалізує основні способи і задачі аналітичної фотограмметрії та операції з опрацювання зображень.

Програма орієнтування забезпечує створення каталогів опорних точок, напівавтоматичне орієнтування стереопари і поодинокого знімка, контроль якості та можливість виправлення кожного процесу орієнтування, опрацювання аеро- та космічних знімків високої роздільної здатності.

Програма стереозбирання і створення електронних карт працює як у стереорежимі, так і з поодинокими знімками, для яких попередньо створена ЦМР. Виконується векторизація ортофотопланів або відсканованих карт, накладання векторної інформації на растрову у режимі 3D, використовуються шаблони типових об'єктів, автоматичне створення і замикання полігонів. Відновлюється рельєф в автоматичному та напівавтоматичному режимах, побудова та інтерполяція горизонталей.

Система дає змогу створювати ортомозаїки з необмеженої кількості знімків та полігонів з вирівнюванням тональності і корекцією кольорів.

Закладено та реалізовано такі функції опрацювання рельєфу: побудова регулярної сітки (GRID) або нерегулярної (TIN) з пікетів чи горизонталей, генерування горизонталей з ЦМР або TIN, інтерполяція горизонталей, побудова перерізів, підрахунок об'ємів.

Реалізована автоматична блочна тріангуляція з вирівнюванням блока, спосіб швидкої кореляції для автоматичного ототожнення точок і передавання їх на сусідні знімки. Відбувається електронне маркування точок і генерування абрисів. Після вирівнювання блока видається каталог координат точок мережі.

Використовуються внутрішні формати графічних даних DMF, TIFF, внутрішній формат бази даних DMF, експорт та імпорт графічних даних у форматах DXF, MID/MIF, SHP, DGN, TXF, ASCII, TIFF, BMP, JPG.

Реалізовано обмін даними з програмами AutoCAD, MapInfo, ArcView, MicroStation, ГІС "Карта 2000".

2.5.3. Технологія створення карт і планів на ЦФС

Технологія складається з наступних процесів:

- сканування фотознімків для перетворення їх в цифрову форму;
- введення в комп'ютер цифрових зображень стереопари знімків;
- введення елементів внутрішнього орієнтування (x_0, y_0, f), координат сітки хрестів або відстаней між координатними мітками (1x,1y), даних дисторсії АФА, параметрів аерофотознімання, координат опорних точок;
- внутрішнє і взаємне орієнтування знімків;
- визначення елементів зовнішнього орієнтування моделі;
- визначення елементів зовнішнього орієнтування знімків в автоматичному режимі;
- зйомка ситуації і рельєфу (векторизація, кодування, редагування).

Для великомасштабних зйомок (1:2 000 і крупніше) слід використовувати аналітичні плоттери.

Для зйомок в масштабах 1:10 000 і 1 : 25 000 можна застосовувати аналогові універсальні прилади. У всій решті випадків рекомендується застосовувати цифрові фотограмметричні станції, оскільки сьогодні перевага віддається цифровим картам. Карти і плани, створені на аналогових приладах, можуть бути перетворені в цифрову форму, проте це пов'язано з великими додатковими трудовитратами. При створенні карт на аналітичних плоттерах і ЦФС перевагу віддають способу побудови моделей по умові компланарності, хоча спосіб побудови моделей по установних елементах вимагає менше витрат в рішенні і дає вищу точність.

Проте слід враховувати, що висока точність буде одержана при умові, коли елементи внутрішнього орієнтування відомі з високою точністю ($v_n < 0,01$ мм), або повинне бути виконане узгодження елементів внутрішнього і зовнішнього орієнтування. Останнє досягається шляхом визначення настановних елементів із зворотної або подвійної зворотної засічки.

2.5.4. Знімання ситуації за допомогою фотопланів

Невеликі ділянки місцевості в проекції Гауса можна вважати подібними ортогональній проекції. Відомо, що зображення на горизонтальному аерофотознімку плоскої горизонтальної місцевості подібно ортогональній проекції. Отже, з вказаних аерофотознімків можна виготовити план або карту, виконавши монтаж таких знімків в межах трапеції і дешифрування.

На реальних знімках є зсув точок за вплив кута нахилу знімка і рельєфу. Очевидно, що для створення фотоплану треба виправити знімки за вплив вказаних чинників і привести їх до масштабу карти (плану). Для цього виконується трансформування, що полягає в перетворенні похилого знімка в горизонтальний, або ортофототрансформування, коли виконується виправлення зображення за вплив кута нахилу знімка і рельєфу.

Фотоплани мають переваги перед зйомкою ситуації на універсальних приладах, які полягають в об'єктивності відображення ситуації і високої інформативності. Ці якості фотопланів мають велике значення для вирішення задач в сільському і лісовому господарствах, при дослідженні і охороні природних ресурсів.

Виготовлення карт і планів на універсальних приладах підвищує вартість кінцевої продукції, проте при великому контурному навантаженню використання фотопланів вигідне і підвищує якість карт і планів.

Просте цифрове трансформування знімків (без ортофототрансформування) вимагає невеликих витрат, тому цифрові фотоплани раціонально застосовувати ширше. У фотограмметрії існувало і існує декілька способів трансформування знімків:

- 1) трансформування по опорних точках;
- 2) фототрансформування по настановних елементах;
- 3) ортофототрансформування по зонах;
- 4) диференціальне трансформування;

5) цифрове трансформування і ортотрансформування.

Для здійснення перших трьох способів трансформування знімків використовують фототрансформатори "Seg 5-6", "Rectimat B" і "Rectimat 3".

Принципова будова всіх фототрансформаторів однакова:

- проектуюча система (касета для негативу, освітлювач, об'єктив і екран);
- механізми установки кутів між негативом і екраном, механізм лінійних переміщень (по вертикалі) об'єктиву і негативу;
- пристрої для автоматичної корекції різкості зображення (перспективний і масштабний інверсори) та система децентрацій.

Найдосконаліші фототрансформатори оснащені обчислювальними пристроями для автоматичної установки елементів трансформування.

2.6. Технологія оновлення топографічних карт і планів

2.6.1. Загальні положення

Топографічні карти з часом поступово перестають відповідати місцевості, унаслідок її змін, що виникають головним чином під впливом діяльності людини.

Задачею оновлення карт є приведення їх змісту у відповідність з сучасним станом місцевості.

При оновленні, як правило, виконується перевидання карт в прийнятій системі координат і в діючих умовних знаках.

У зв'язку із введенням з 1.01.2003 р нової системи координат СК-95, всі карти, що оновлюються, підлягають перевиданню в СК-95.

Кarti необхідно оновлювати, якщо:

- змінилися державні кордони;
- виникли нові населені пункти або істотно змінилися старі;
- побудовані нові промислові підприємства, дороги;
- створені водосховища.

Оновлення карт може виконуватися:

- а) інструментально (на невеликих територіях в крупних масштабах);
- б) за матеріалами пізніших великомасштабних зйомок;
- в) за матеріалами аерофотознімання (1:2 000-1 : 50 000);
- г) за матеріалами космічної зйомки (1 : 25 000 і дрібніше).

Оновлення за термінами виконання підрозділяється на безперервне оновлення і періодичне оновлення.

Окрім періодичного оновлення на райони інтенсивного розвитку, де швидко відбувається зміна місцевості, виконується безперервне оновлення. Безперервне оновлення виконується шляхом точного і детального нанесення змін (у міру їх виникнення) на чергові карти масштабу 1 : 25 000 або 1:10 000.

На інші райони детальне чергування за всіма змінами місцевості виконується по картах масштабу 1 : 100 000.

Внесення змін і нанесення їх на карти виконується за картографічними матеріалами різних організацій.

При оновленні карт за матеріалами аерофотознімання використовують, як правило, наявну геодезичну основу, а також знімальне обґрунтування (опознаки) і дані дешифрування аерофотознімків, одержані при створенні карти, що оновлюється.

Також використовують всі картографічні матеріали, одержані після створення карти, що оновлюється. Рішення про оновлення карти ухвалюється на основі аналізу її точності і кількості змін, що відбулися.

Аналіз точності карти, що оновлюється, виконують по технічних звітах про виконане топознімання порівнянням її з матеріалами пізніших зйомок крупнішого масштабу, нанесенням геодезичних пунктів, реперів, одержаних після створення карти або по контрольних точках, одержаних з фотограмметричного згущування по новому аерознімальному зальоту.

Карта задовольняє вимогам точності, якщо середні розбіжності в плановому положенні точок фотограмметричних мереж і відповідних точок на карті на перевищують 0,6 мм в рівнинній місцевості і 0,9 мм - в гірській. Середні розбіжності висот не повинні перевищувати 1/2 висоти перетину рельєфу. Ділянки карт, в межах яких помилки взаємного положення контурів в плані і по висоті перевищують вказані допуски, підлягають новій зйомці.

При виборі способу оновлення карти враховують:

- матеріали, що визначають точність карти (плану);
- ступінь сучасності карти;
- характеристику території (щільність забудови, багатоповерховість, рельєф, рослинність) для визначення доцільності виготовлення фотопланів;
- наявність необхідних фотограмметричних приладового і програмних засобів;
- наявність сучасних топографо-геодезичних, картографічних, аерофотознімальних матеріалів і космічних знімків.

2.6.2. Оновлення карт за матеріалами аерофотознімання

Залежно від рельєфу місцевості, насиченості контурами, кількості і характеру змін місцевості, застосовують три основні способи оновлення топографічних карт за матеріалами аерофотознімання.

Оновлення карти на основі нового фото плану

Виготовляється новий фотоплан за звичною технологією.

Після цього виготовляється світлокопія з фотоплану з удрукованим рельєфом.

Потім виконується камеральне дешифрування на фотоплані і викреслювання всієї ситуації. Цей спосіб застосовується в рівнинній місцевості при зміні контурного навантаження більше 30 %.

Оновлення карти по аерофотознімках і копії оригіналу карти на прозорому пластику

Спосіб застосовується, коли кількість змін на місцевості менше 30 % і коли викреслювання на копії карти нових елементів і видалення втрачених менш трудомістке, ніж викреслювання всієї ситуації на новому фотоплані.

Оновлення карт по моделі, яка побудована на універсальному стереофотограмметричному приладі

Цей спосіб застосовується при оновленні карт на гірські території. Для зовнішнього орієнтування моделі використовуються чіткі контури карти, що обновляється, що не змінилися. В цьому випадку модель будують звичайним способом, по якій і виконується оновлення карти.

2.6.3. Цифрові технології оновлення карт по аерознімках

До 1990-х рр. процес складання і оновлення карт виконувався ручними або напівавтоматичними способами і повністю залежав від досвіду і кваліфікації фотограмметристів і картографів. В даний час завершується перехід на цифрові методи складання і оновлення карт.

Процес оновлення карт за традиційною технологією ділиться на три етапи:

- підготовчі роботи;
- власне оновлення карт;
- відтворення оновленої карти.

Застосування цифрових методів зберігає триетапність процесу оновлення. На першому етапі створюється топографічна основа за матеріалами нового аерофотознімання у вигляді цифрового ортофотоплана.

На другому етапі виконується накладення заздалегідь відсканованої і векторизованої карти на растрове фотозображення фотоплану. На цьому етапі оновлення здійснюється векторизація по растровому зображенню фотоплану об'єктів, що знов з'явилися, коректування збереглися і виявлення втрачених об'єктів.

На завершальному етапі виконується остаточне нанесення об'єктів, що обновляються, і видалення втрачених об'єктів з карти, що обновляється.

Сучасні цифрові технології оновлення карт базуються на тих же технічних засобах, що використовувалися і для їх створення, які були описані раніше.

Дана технологія оновлення передбачає переклад графічних оригіналів карт, що обновляються, в цифровий вигляд. Для цього виконується сканування оригіналів і векторизація карт.

Оновлення цифрової топографічної карти виконується по стереопарам знімків, одиночних знімках, ортофотопланах.

В процесі оновлення контурна частина карти приводиться в повну відповідність із знімками нового зальоту. Процес оновлення зводиться до трьох видів робіт:

- виключення з бази даних відсутніх на знімках об'єктів;
- включення в базу об'єктів, що знов з'явилися;
- внесення змін в семантику.

В процесі редагування виконується зведення контурів і горизонталей, зміна семантичних кодів, привласнення об'єктам необхідних характеристик, умовних знаків. При редагуванні використовуються різні допоміжні функції: перегляд по шарах, копіювання або видалення об'єктів, автоматична стиковка об'єктів з різних цифрових фотопланів, виділення оригіналу і т.д.

Оформлення номенклатурного листу цифрової карти або плану включає вставку в нього координатної сітки, внутрішньої і зовнішньої рамок і за рамочного оформлення. Для тиражування оформленого листу цифрової карти він може бути уявлений також у вигляді растрового файлу у форматі BMP.

Розглянута технологія в конкретних умовах може видозмінюватися залежно від характеру змін, що відбулися, наявності фотограмметричних приладів, програмних продуктів і ін. Перевагою цифрових технологій оновлення карт і планів перед традиційними є високий рівень автоматизації всіх етапів оновлення, висока продуктивність.

Аерознімання з використанням дистанційно-пілотованого дирижабля

Носій фотокамери

В якості носія фотокамери використовується дистанційно-пілотований дирижабль, керований із землі за допомогою радіопередавача (рис.2.21).



Рис. 2.21 – Дистанційно-пілотований дирижабль

Використання бортового GPS-приймача дозволяє відстежувати і витримувати наперед встановлені курс і висоту. Система стабілізації осей забезпечує малі кути нахилу в процесі фотографування.

Технічні характеристики дирижабля:

- довжина оболонки 4.7 м, максимальний діаметр 1.5 м;
- електродвигуни, що працюють на акумуляторних батареях;

- дальність управління до 2 км;
- крейсерська швидкість 20 км/г, максимальна швидкість 40 км/г;
- GPS-навігація;
- система телеметрії;
- 2-х осьова гіроскопічна система стабілізації апарату;

Фотознімальна апаратура

Унікальна технологія калібрування дозволяє використовувати неметричні цифрові фотокамери для проведення зйомки. При цьому достатня вантажопідйомність дирижабля дає можливість піднімати в повітря професійні дзеркальні камери з доброю оптикою.

Низькі висоти зйомки та висока роздільна здатність вживаних цифрових фотокамер забезпечують високу детальність одержуваних знімків.

Аерофотознімальні характеристики:

- цифрова, дзеркальна, відкалібрована камера Canon 400D, на двовісному маятниковому карданному підвісі з керованим по радіо таймером;
- висота польоту при виконанні аерофотознімання 50 - 300 метрів залежно від вживаного об'єктиву і масштабу зйомки;
- лінійна роздільна здатність знімків 1.5 - 10 см залежно від висоти польоту і використаного об'єктиву;

В результаті фотограмметричної обробки одержаних даних створюються ортофотоплани і цифрові моделі рельєфу. Точність побудови фототріангуляції і результуючого ортофотоплану задовольняє вимогам до точності створюваних планів масштабів від 1:100 до 1:2000. Результатом роботи на різних етапах залежно від задачі є:

- врівноважена мережа фототріангуляції;
- цифрова модель рел'єфу;
- матриця висот і ортофотоплан.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Дорожинський О.Л. Аналітична та цифрова фотограмметрія: конспект лекцій / Дорожинський О.Л. – Львів, 2000. - 80 с.
2. Дорожинський О.Л. Аналітична фототріангуляція при відомих координатах центрів проєкцій. О.Л. Дорожинський // Вісник геодезії та картографії. – 1999. – № 4. – с.19-21.
3. Дорожинський О.Л. Передмова до матеріалів 1-ої Міжнародної науково-практичної конференції. О.Л. Дорожинський // Зб. Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 1997. – Вип. 58. – с.3-6.
4. Дорожинський О. Л., Тукай Р. Фотограмметрія: підручник/ Дорожинський О. Л., Тукай Р. – Львів.: Львівська політехніка., 2008. – 332 с.
5. Лобанов А.Н. Фотограмметрія: учебник для вузов./ Лобанов А.Н., Бузов М.Н., Краснопевцев Б.В. – М.: Недра, 1987. – 309 с.
6. Обиралов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Н.А. Фотограмметрія. – М.: КолосС, 2004. – 240 с.
7. Рудий Р.М. Прикладна фотограмметрія: навч. посібник./ Рудий Р.М. – К.: НМК ВО, 1991. – 172 с.
8. Сердюков В.М. Фотограмметрія / Сердюков В.М. – М.: Высшая школа, 1983. – 351 с.
9. Саєнко А.Ф. Фотограмметрія: методичні вказівки до лабораторних робіт/ А.Ф. Саєнко, І.В. Важенін, І.В. Чедявко. – Харків: ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, 2002. – 23 с.

Навчальне видання

ТОЛСТОХАТЬКО Віктор Антонович

ПЕНЬКОВ Володимир Олексійович

Конспект лекцій з дисципліни «Фотограмметрія та дистанційне зондування».
Модуль 1: «Фотограмметрія» (для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій»)

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2011, поз 29Л

Підп. до друку 27.07.2013 р.
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60x84/1/16
Ум. друк. арк. 3,9
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002,
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.