

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
кафедра геодезії і картографії

Конспект лекцій з дисципліни
«АЕРОФОТОТОПОГРАФІЯ»

Укладач: к.т.н., доц. Білоус В.В.

Аерофотозйомка

Аерофотозйомка - процес отримання фотографічного зображення земної поверхні з повітряних літальних апаратів. Виконання аерофотозйомки забезпечується технічними засобами і включає в себе наступні процеси:

- 1 - льотний - політ над територією зйомки за розробленими технічними умовами;
- 2 - аерофотографічний - фотографування місцевості за розробленими технічними умовами;
- 3 - фотолабораторний - проявлення аерофільмів, виготовлення з аеронегативів позитивних відбитків та фоторепродукцій накладного монтажу;
- 4 - фотограмметричний - реєстрація проявлених аеронегативів, складання накладного монтажу і оцінка якості виконаної аерофотозйомки.

Характеристики літаків та вертольотів для аерофотозйомки.

Характеристика	Літаки			Вертольоти	
	АН-2	ІЛ-14	АН-30	КА-26	МІ-4
Швидкість, км/год	180	320	350-500	140	140
Гранична висота зйомки, м	4500	6500	8300	3100	5500
Дальність польоту, км	1300	2100	2500	400	660
Кількість АФА	1	2	4	1	1

Зйомочна апаратура розміщується: на носіях, які піднімають її на задану висоту для виконання повітряної чи космічної зйомки; на наземних стаціонарних та пересувних лабораторіях; дослідницьких судах. Крім цього зйомки виконуються з різного виду ракет, аеростатів, повітряних куль і радіокерованих літальних апаратів.

Особливості виконання аерофотозйомки

На перспективних аерофотознімках зображення місцевості отримується з великими спотвореннями, що ускладнює їх обробку. Однак на перспективних аерофотознімках відображається більша площа місцевості, ніж на плановому, виконаному з тієї ж висоти, й, крім того, місцеві предмети зображаються не тільки згори, а й збоку, що дозволяє використовувати такі знімки для дешифрування.

В залежності від масштабу виділяють крупномасштабну аерофотозйомку (від 1:10 000 й крупніше) і середньомасштабну (від 1:50 000 й дрібніше). Масштаб аерофотозйомки обирається в залежності від масштабу створюваної карти та фізико-географічної характеристики району зйомки. Для відкритої місцевості обирається масштаб аерофотозйомки 1:20 000, для горбистої - 1:30 000, у гірських районах - 1:50 000. В залежності від застосованих АФА максимальна висота фотографування при зйомці горбистої місцевості складає 5 км, а в гірських районах - 10 км. Аерофотозйомці передуює складання технічного проекту льотно-зйомочних робіт. На польотній карті наносяться межі зйомочної ділянки і попередньо прокладається система взаємно паралельних аерофотозйомочних маршрутів таким чином, щоб суміжні аерознімки мали поздовжнє перекриття ($P \approx 60\%$), а суміжні аерознімки двох суміжних маршрутів, окрім цього, - поперечне перекриття ($q \approx 30\%$) (мал. 2.1). Перший маршрут прокладають вздовж північної або південної межі зйомки, щоб він перекривав цю межу не менш ніж на $1/4$ робочої площі аеронегатива. Потім через рівні відстані (B_y) наносять наступні маршрути. Аеронегативи останнього маршруту також повинні перекривати південну межу ділянки, як й негативи першого маршрута.



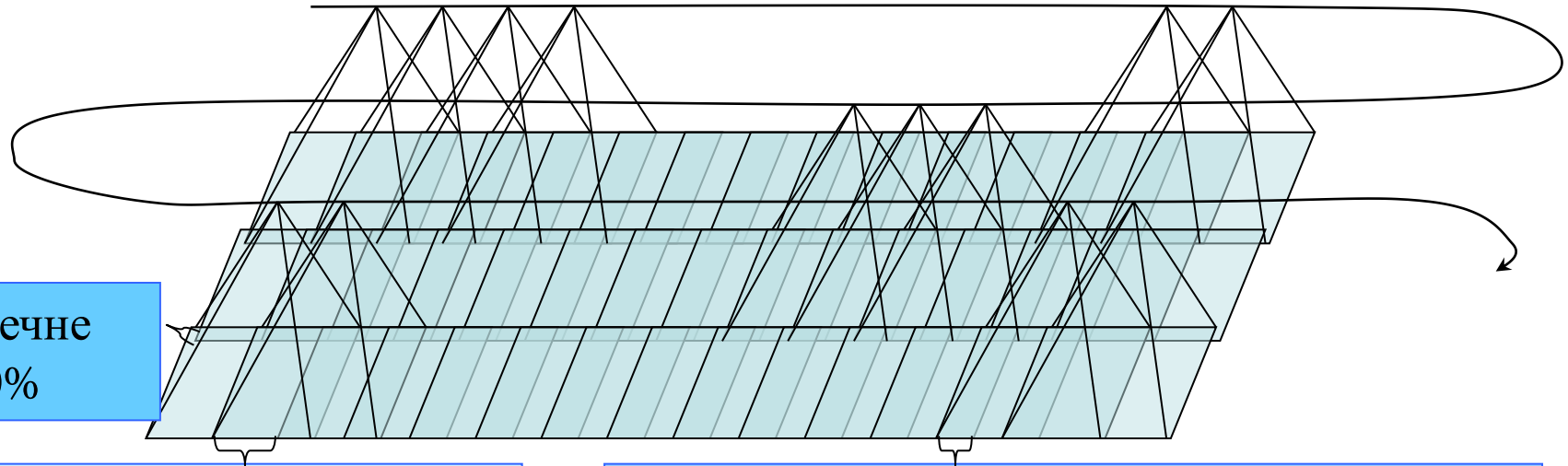
Схема виконання аерофотозйомки

$$p = p_0 + (100 - p_0) \frac{h}{H}$$
$$q = q_0 + (100 - q_0) \frac{h}{H}$$

Подвійне поперечне
перекриття ~ 20%

Подвійне поздовжнє перекриття ~ 60%

Потрійне поздовжнє перекриття ~ 20%



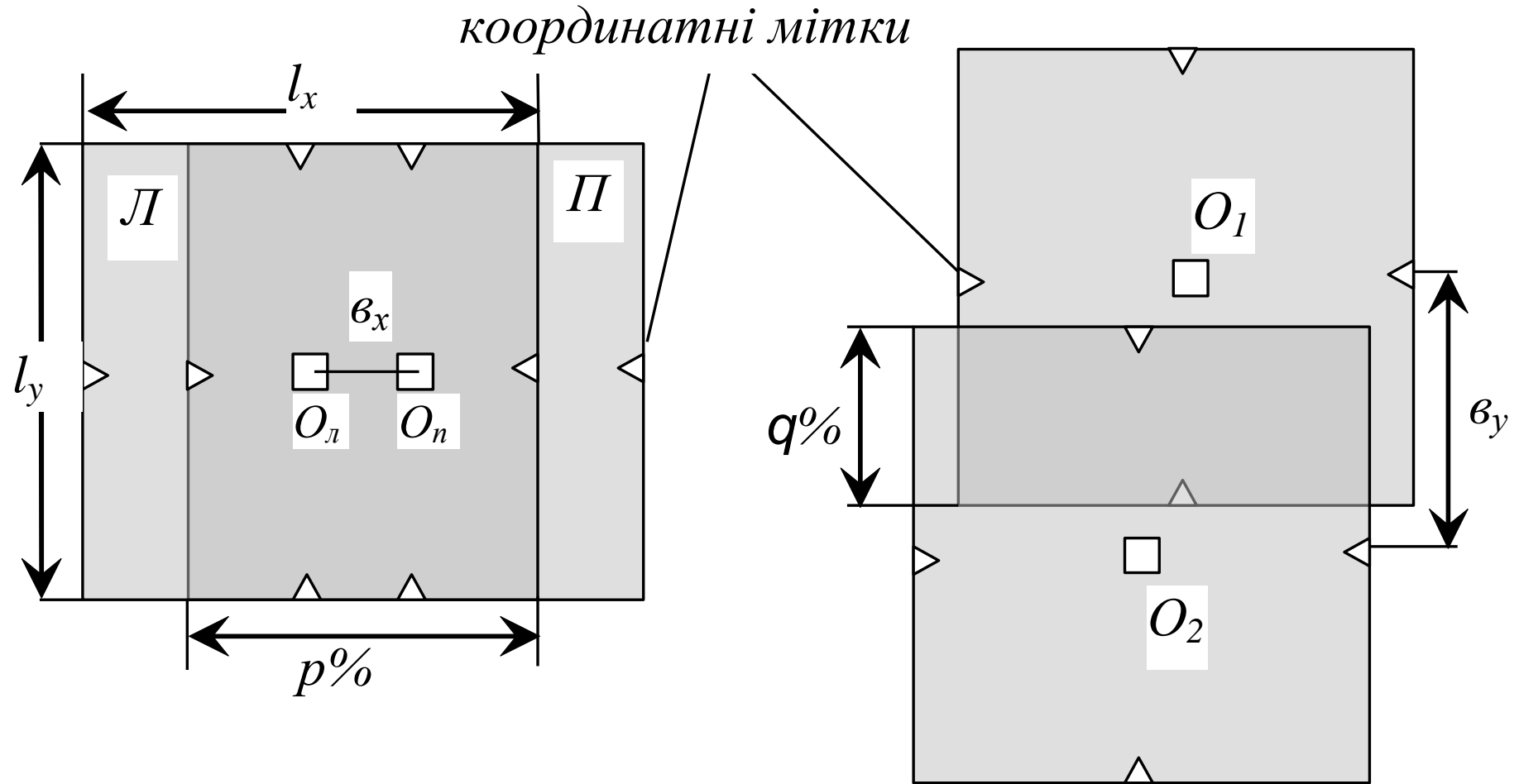
Площинна (багатомаршрутна) аерофотозйомка, при якій фотографується значна площа земної поверхні виконується шляхом прокладання ряду взаємно паралельних маршрутів. Маршрути звичайно прокладають вздовж паралелей із заходу на схід.

Маршрутна аерофотозйомка, коли аерофотознімальний маршрут прокладається вздовж вузької смуги місцевості (річки, лісосмуги і т.д.), виконується шляхом прольоту одним прямолінійним або ламаним маршрутом.

Планова зйомка виконується з кутами відхилення оптичної осі АФА від вертикалі які не перевищують 2° - 3° .

Перспективною називають зйомку коли оптична вісь АФА встановлена на заданий кут (більший від 3°) відносно вертикалі.

Перекриття знімків



Розрахунок завдання на аерофотозйомку 1

Якщо задані масштаб аерофотозйомки й фокусна відстань АФА, можна визначити висоту фотографування H , виходячи з формули:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}; H = f \cdot m$$

При аерофотозйомці для цілей картографування повздовжнє p й поперечне q перекриття знімків розраховують за формулами:

$$p = p_0 + (100 - p_0) \frac{h}{H}; q = q_0 + (100 - q_0) \frac{h}{H}$$

Базис фотографування : B_x - відстань між положенням центрів об'єктивів S_1 та S_2 при фотографуванні двох суміжних аерофотознімків та B_y - відстань між положенням центрів об'єктивів знімків двох суміжних маршрутів:

$$B_x = b_x m; b_x = \frac{l(100 - p)}{100}; B_y = b_y m; b_y = l \frac{100 - g}{100}$$

Знаючи базис фотографування B й швидкість літака W , можна визначити тривалість польоту між двома експозиціями - **інтервал фотографування**

$$t = \frac{B}{W} = \frac{bH}{fW} = \frac{bm}{W}$$

Розрахунок завдання на аерофотозйомку 2

Якщо відома ширина ділянки зйомки кількість маршрутів розраховують за формулою

$$K = \frac{D_y}{B_y} + 1$$

Якщо відома довжина ділянки зйомки кількість знімків в маршруті розраховують за формулою

$$n = \frac{D_x}{B_x} + 1$$

Загальна кількість знімків необхідних для виконання зйомки даної ділянки

$$N = Kn$$

Загальна довжина маршрутів на місцевості

$$L = D_x K$$

Тривалість виконання аерофотозйомки всієї ділянки

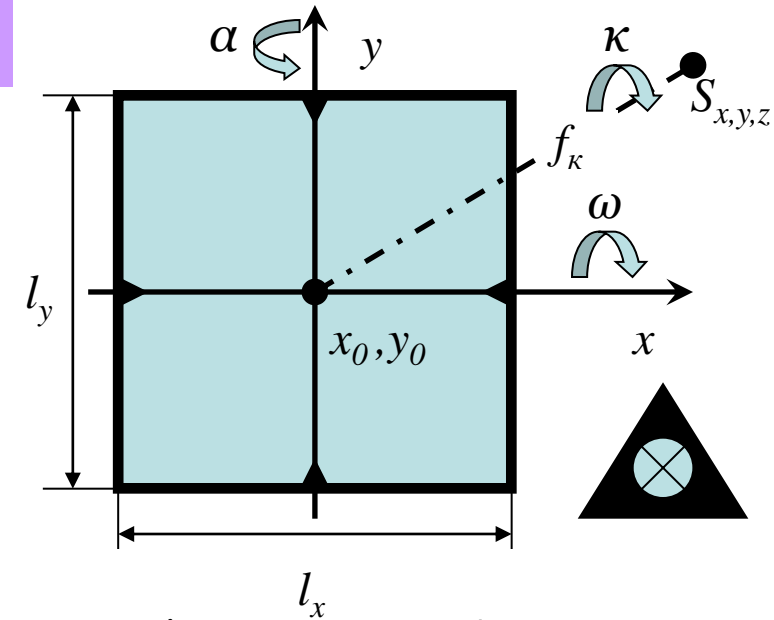
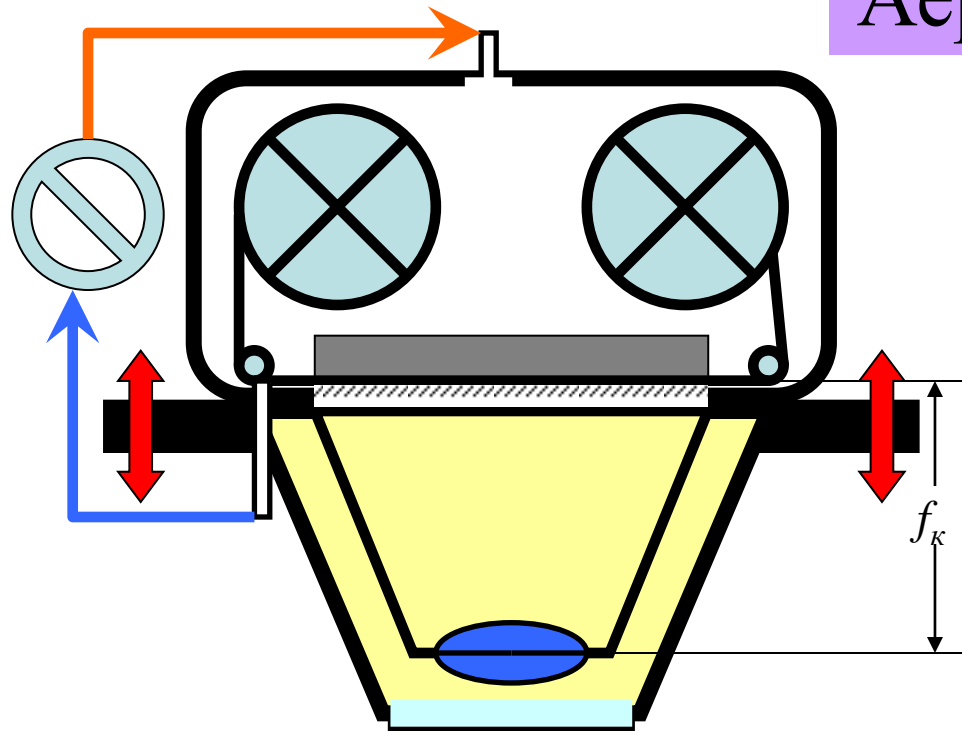
$$T_s = \frac{L}{W}$$

Розрахована тривалість збільшується з врахуванням часу заходу на маршрути, часу польоту до ділянки, пробні польоти для визначення кутів зносу та інтервалів зйомки.

Для заданої величини змазування зображення - σ підраховують час витримки - τ :

$$\tau = \frac{\sigma m}{W}$$

Аерофотоапарат



Елементи внутрішнього орієнтування – $f_k x_0, y_0$

Елементи зовнішнього орієнтування – $X_S Y_S Z_S \alpha \omega \kappa$

Незважаючи на різні типи аерофотоапаратів АФА, в них можна виділити наступні основні вузли: об'єктив, затвор, корпус, касету, котушки з фотоплівкою, притискну дошку, прикладну рамку. Фотоплівка притискається й вирівнюється в площину між притискною дошкою і прикладною рамкою за рахунок різниці тиску, яка створюється насосом. Розміри світлового вікна в прикладній рамці визначають формат кадру знімка. У площині прикладної рамки АФА є координатні мітки, які утворюють координатну систему знімка. Однією з основних характеристик роботи АФА є цикл роботи. Проміжок часу, необхідний для виконання всіх операцій циклу, необхідних для одержання чергового знімка називається **тривалістю циклу роботи аерофотоапарата**, яка у сучасних АФА складає близько 1,5-2 с.

Аерофотозйомчне обладнання 1

Витримки при аерофотозйомці з швидкісних літаків повинні бути миттєвими, щоб запобігти змазуванню зображення, тому затвори сучасних АФА забезпечують високу точність й чіткість роботи, забезпечуючи діапазон витримок у межах 1/50-1/1000 с. **Аерофотоустановка** служить для кріплення АФА в літаку, орієнтування його у задане положення й для віброізоляції.

При аерофотозйомці АФА горизонтуються за допомогою автоматичної гіростабілізуючої установки. Застосування **гіростабілізуючих** пристроїв зменшує кути нахилу знімків до 10-15'.

Командний прилад призначений для управління й контролю за роботою аерофотоапарата й синхронізацією його роботи з додатковими приладами: **радіовисотоміром, статоскопом, GPS та ін.** Командний прилад має механічний, електромеханічний або електронний інтервалометр (реле часу), який визначає заданий інтервал часу між знімками, що залежить від умов зйомки - висоти фотографування, швидкості польоту, параметрів аерофотоапарата й т.д. Останні конструкції електронних командних приладів дозволяють автоматично змінювати інтервал зйомки в залежності від змін режиму польоту.

За своєю конструкцією аерофотоапарати класифікуються за наступними основними ознаками:
За ступенем автоматизації роботи (АФА діляться на автомати, напіваавтомати та неавтомати).

За кількістю об'єктивів (діляться на однооб'єктивні й багатооб'єктивні).

За форматом кадра (існуючі АФА для топографічних цілей мають переважно формат кадра 18×18 см, крім того, застосовують АФА з форматом кадра 23×23 см й 30×30 см.

Аерофотоапарати для топографічних цілей можуть мати й інші формати кадрів.)

Аерофотозйомочне обладнання 2

За кутом поля зображення й фокусною відстанню (АФА розподіляються на вузькокутові або довгофокусні ($2\beta > 50^\circ$), нормальнокутові ($50^\circ < 2\beta < 80^\circ$) або нормальнофокусні, ширококутові ($80^\circ < 2\beta < 110^\circ$) або короткофокусні й зверхширококутові ($2\beta > 110^\circ$) або зверхкороткофокусні.

Для АФА з форматом кадра 18×18 см довгофокусними аерофотоапаратами вважаються з $f=350; 500$ мм; нормальнофокусними з $f=200$ мм; короткофокусними з $f=70; 55; 36$ мм.

Панорамні аерофотоапарати (ПАФА) використовуються головним чином для нетопографічних цілей, але останнім часом розробляються спроби використання їх для цілей картографування й рішення інших інженерних задач. Особливістю ПАФА є те, що зображення будується на внутрішню поверхню циліндра (мал.2.6,а), експонування виконується послідовним переміщенням вузької щілини, яка переміщується разом з обертанням об'єктива. Перевага ПАФА перед звичайним кадровим АФА полягає у високій роздільній здатності знімка, тому що використовується тільки центральна частина поля зображення й велика ширококутовість (до $140-180^\circ$), що дозволяє знімати широку смугу місцевості. Недолік цієї камери полягає в ускладненні фотограмметричної обробки панорамних знімків через відсутність відповідних приладів.

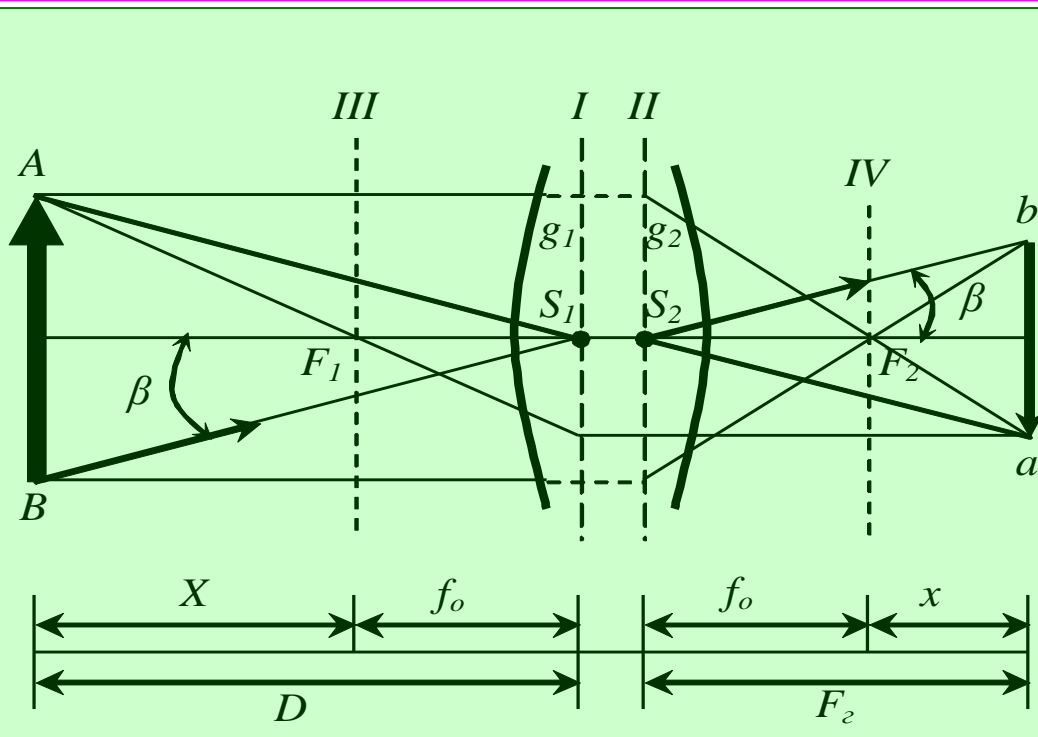
Щільові аерофотоапарати (АЩАФА) також використовуються не для топографічних цілей. При щільовому фотографуванні аероплівка переміщується синхронно із швидкістю польоту літака й місцевість проектується на аероплівку крізь вузьку постійно відкриту щілину. В результаті цього утворюється на аероплівці нерозривне зображення місцевості. Така зйомка для цілей топографії у наш час не застосовується через складність її фотограмметричної обробки.

Аерофотозйомочне обладнання 3

Тип АФА	Формат аерознімка l , см	Фокусна відстань f , мм	Кут поля зображення 2β	Максимальна дисторсія, мм	Роздільна здатність лін/мм у центрі по краях	
Топографічні аерофотоапарати						
АФА-ТЕ-50	18×18	500	28		35	25
АФА-ТЕ-35	18×18	350	40	0,02	35	28
АФА-ТЕ-20	18×18	200	65	0,02	40	25
АФА-ТЕ-14	18×18	140	84		36	20
АФА-ТЕ-10	18×18	100	104	0,015	25	15
АФА-ТЕС-7	18×18	70	120	0,015	30	12
АФА-42	30×30	200	92	0,015	35	8
АФА-ТЕС-10	18×18	100	104	0,015	33	15
Нетопографічні аерофотоапарати						
АФА-МК	18×18	100	102			
АФА-39	8×8	100	54		45	20
АФА-БА	13×13	210	56		40	20

Об'єктив 1

На головній оптичній осі об'єктива розміщуються дві **вузлові точки** передня - $S1$ і задня - $S2$. Площини I і II , що проходять через вузлові точки об'єктива під прямим кутом до головної оптичної осі, називаються **головними передньою і задньою площинами об'єктива**. Промені, які входять в об'єктив паралельно до головної оптичної осі об'єктива, збираються в точці яка називається **головним фокусом об'єктива**. На головній оптичній осі існує два головних фокуса: **передній $F1$ і задній $F2$** . Площини, що проходять через головні фокуси перпендикулярно до головної оптичної осі, називаються **головними фокальними площинами об'єктива: передня III і задня IV** . Відстань f_o від передньої (задньої) вузлової точки об'єктива до переднього (заднього) головного фокуса, називається **головною фокусною відстанню об'єктива**.



Формула лінзи

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{f_o} - \frac{1}{D}$$

Гіперфокальна відстань

$$F_2 = \frac{D f_o}{D - f_o}$$

Об'єктив 2

Об'єктиви сучасних АФА являють собою багатолінзові системи, в яких кількість лінз доходить до 10-15 й більше. Така велика кількість лінз необхідна для виключення різних аберацій. Ідеальний об'єктив задовольняє наступним умовам: пучок променів, який виходить з однієї точки (гомоцентричний пучок) залишається гомоцентричним після проходження об'єктива; площина, перпендикулярна до оптичної осі, зображається також перпендикулярною до цієї осі; зображення плоского об'єкта, розміщеного перпендикулярно до оптичної осі, подібне до самого об'єкту.

Кутом поля зору об'єктива (2β) називають частину зображення, яка задовольняє вимозі щодо якості зображення.

Фактично лінійне збільшення в площині знімка не є постійним через похибки виготовлення об'єктива, що призводить до порушення подібності зображення в площині знімка. Це спотворення називають дисторсією об'єктива. **Дисторсія** у сучасних об'єктивів знаходиться в межах 0,005-0,04 мм. Зображувальні й метричні якості знімка залежать від багатьох факторів. Під **роздільною здатністю об'єктива** розуміють його спроможність давати роздільне зображення двох близько розташованих точок або ліній. Роздільна здатність оцінюється числом роздільно зображених ліній, що приходить на 1 мм (лін/мм). У наш час якість об'єктивів й зображення оцінюється за частотно-контрастною характеристикою (ЧКХ) й фазочастотною характеристикою (ФЧХ), де ЧКХ - залежність між роздільною здатністю й контрастом зображення, а ФЧХ - міра порушення ортоскопічності об'єктива. Дисторсія у сучасних об'єктивів знаходиться в межах 0,005-0,04 мм.