



Лекция 2: ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ

Вопросы: 2.1 Понятие об аэро- и космических съемках Земли.

2.2 Схема получения видео-информации при аэро- и космических съемках.

2.3 Электромагнитное излучение, используемое при аэро- и космических съемках земной поверхности.

2.4 Роль атмосферы при проведении аэро- и космических съемок.

2.5 Оптические свойства элементов ландшафта и их использование в съёмочном процессе.

2.6 Аэро- и космические съёмочные системы. Классификация съёмочных систем.

2.7 Фотографические съёмочные системы и их характеристики: Кадровые топографические аэрофотоаппараты. Устройство аэрофотоаппарата.

2.8 Характеристики фотографического объектива.

2.9 Специальное аэросъёмочное оборудование: радиовысотомер, статоскоп, гиросtabilизирующая установка.

2.10 Фотографические материалы, применяемые при аэро-и космических съемках: Понятие о фотографическом процессе. Аэрофотопленка, фотобумага, их характеристики.

2.11 Нефотографические съёмочные системы. Цифровые съёмочные системы (ЦСС) и их классификация.

Литература

1. Назаров, А.С. Фотограмметрия: учебное пособие для студентов вузов / А. С. Назаров. -Мн.: ТетраСистемс, 2006. –368 с.
2. Ильинский, М.Д., Фотограмметрия и дешифрирование снимков / М.Д. Ильинский, А.И. Обиралов, А.А. Фостиков. - М.: Недра, 1986.– 375с.
3. Обиралов, А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.И. Обиралов, А.Н.Лимонов, Л.А.Гаврилова. – М.: КолосС, 2006. – 336 с.

Вопрос 2.1 Понятие об аэро- и космических съемках. Классификация аэрофотосъемок

Аэро- и космической съемкой называется совокупность работ по получению изображения местности с воздушных или космических летательных аппаратов. Космическая съемка выполняется с целью получения изображения Земли в целом, других планет и их спутников. В настоящее время космические съемки выполняются с целью получения специальной информации об изучаемых объектах и тематического картографирования.

В мировой практике получил широкое распространение термин «дистанционное зондирование». Под дистанционным зондированием понимается неконтактное изучение Земли (других планет), ее поверхности и недр, отдельных объектов и явлений путем регистрации и анализа их

собственного или отраженного ими электромагнитного излучения. Регистрация может выполняться с помощью технических средств, установленных на аэро- и космических летательных аппаратах, а так же, на земной поверхности.

Съемка и получение дискретной информации называются *пассивными*, если при этом регистрируются естественные отраженные или излученные радиационные потоки.

Съемка называется *активной* в случае регистрации отражаемого объектами искусственного излучения.

Преобладают пассивные виды съемки и дискретного зондирования с использованием излучения солнца.

Вопрос 2.2 Схема получения видеоинформации при аэро- и космических съемках

В съемочном процессе участвуют: источник электромагнитного излучения, снимаемый объект, передающая излучение среда, средства приема и регистрации излучения, средства бортовой обработки информации и передачи ее на пункты приема, носитель этих средств, средства приема и первичной обработки видеоинформации. Все перечисленные компоненты иногда включают в съемочную систему.

Первые три, из перечисленных в начале параграфа компонентов, относят к условиям съемки. Состояние этих компонентов не зависит от человека – они выбираются при оптимизации съемочного процесса.

Съемки и соответственно съемочные системы можно классифицировать по разным признакам. Съемочные системы в зависимости от происхождения используемого для съемки излучения делят на **пассивные и активные**.

По используемому при съемке диапазону спектра электромагнитного излучения съемочные системы делят на **работающие в оптическом диапазоне и радиодиапазоне**. Классификация по этому признаку может быть продолжена с разделением спектра на более узкие интервалы. Например, первые можно разделить на работающие в видимой и инфракрасной областях спектра.

По способу приема и регистрации излучения различают фотографические съемочные системы, в которых пространственное распределение яркостей элементов снимаемого ландшафта записывается непосредственно на светочувствительных материалах, и оптико-электронные (нефотографические), в которых яркости измеряются с помощью фотоэлектрических, термоэлектрических и других приемников непосредственно на местности или через промежуточные регистрирующие устройства.

По способу формирования изображения съемочные системы делятся на **кадровые**, в которых изображение строится в виде двумерной непрерывной записи яркостей элементов ландшафта, и **сканирующие**, с помощью которых регистрация излучения выполняется последовательно по

элементам и строкам (сканеры) или полосам (радиолокаторы бокового обзора, панорамные фотокамеры). **Кадровые системы** могут быть **фотографическими или телевизионными (ТВ)**.

В зависимости от числа одновременно используемых при съемке спектральных зон съемочные системы, могут быть **однозональными и многозональными**. По способу доставки результатов съемки на пункты приема съемочные системы могут относиться к **оперативным**, когда получаемая видеоинформация может быть передана в реальном, времени по радиоканалам, или **неоперативным**, продукция которых доставляется транспортными средствами.

Вопрос 2.3 Электромагнитное излучение, используемое при аэро- и космических съемках земной поверхности

В аэро- и космических съемках используется электромагнитное излучение с длиной волны λ от десятых долей микрометра до метра и более. Спектр волн указанного интервала делят на оптический диапазон ($\lambda = 0,01 - 1000$ мкм) и ультракоротковолновый (УКВ) радиодиапазон ($\lambda > 1$ мм). В оптическом диапазоне выделяют ультрафиолетовую (УФ, $\lambda = 0,01 - 0,40$ мкм), видимую ($\lambda = 0,40 - 0,75$ мкм) и инфракрасную (ИК, $\lambda = 0,75 - 1000$ мкм) области спектра, которые в свою очередь делят на зоны. УКВ радиодиапазон включает миллиметровый, сантиметровый, дециметровый и метровый поддиапазоны (обычно называют диапазонами).

Основным источником излучения, используемого при пассивных съемках в оптическом диапазоне, является Солнце. Наземную поверхность поступает радиация, непосредственно идущая от Солнца в виде пучка практически параллельных лучей, а также рассеяния в атмосфере и отразившаяся от Земли радиация. Отдельные участки поверхности подсвечиваются, так же, излучением, отражающихся от возвышающихся объектов.

Вопрос 2.4 Роль атмосферы при проведении аэро- и космических съемок

Атмосфера значительно ослабляет и спектрально преобразует солнечное излучение вследствие рассеяния и поглощения молекулами газов, водяными парами, твердыми частицами. Ослабление интенсивности излучения взвешенными в атмосфере частицами зависит от оптической плотности атмосферы, состава взвесей и длины волны излучения.

Интенсивность рассеяния молекулами и частицами с диаметром, значительно меньшим длины волны излучения λ , обратно пропорциональна λ^4 (закон Релея). Поэтому наибольшему рассеянию подвергаются ультрафиолетовые, фиолетовые, синие и голубые лучи. Частицы с диаметром, превышающим в несколько раз λ , вызывают ахроматическое рассеяние.

Основными поглотителями солнечного излучения являются водяной пар, двуокись водорода и озон. Поглощение избирательно. Для некоторых лучей атмосфера мало прозрачна или непрозрачна совсем.

Наименьшему искажению будут подвергаться отвесные лучи. По мере отклонения направления лучей от отвесного искажающее воздействие атмосферы возрастает.

Освещенность местности в основном зависит от высоты Солнца. С изменением h солнца изменяется также спектральный состав суммарного лучистого потока. Однако при h солнца $>15^\circ$ спектральный состав солнечного излучения остается практически постоянным. Это облегчает процесс моделирования солнечного излучения, исследование оптических свойств элементов ландшафта и определение постоянных для съемочного времени рекомендаций по выбору приемников излучения.

Прозрачность атмосферы для оптических и радиоволн. Существуют спектральные интервалы, в которых атмосфера прозрачна для прохождения лучей. Их называют «окнами прозрачности», в них излучение практически не поглощается.

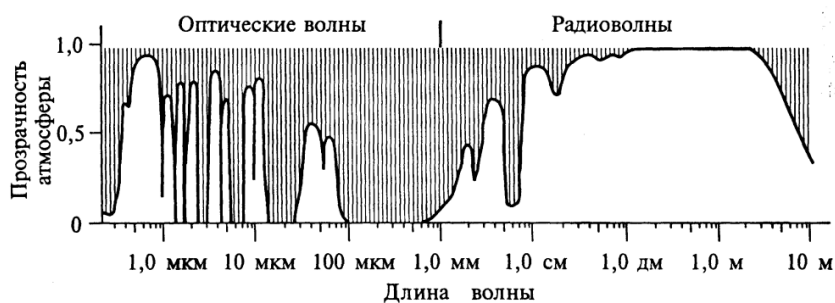


Рис. 2.1

Съёмки поверхности Земли необходимо выполнять в отдельных зонах спектра электромагнитного излучения, прозрачных для прохождения лучей.

Наиболее информативные для этого диапазоны электромагнитного излучения:

- оптический диапазон ($\lambda = 0,1 - 1000$ мкм)
- радиодиапазон (дл. волн эл. изл. >1 мм)

Вопрос 2.5 Оптические свойства элементов ландшафта и их использование в съемочном процессе

Возможность определения по снимкам положения и содержания элементов ландшафта, изучения их свойств решающим образом зависит от качества анализируемых снимков. Нужные элементы на фотографических и визуализированных снимках, полученных нефотграфической съемочной системой, должны иметь достаточно четкие границы, отображаться по возможности собственным уровнем оптической плотности. Этого можно достичь путем оптимизации сочетания цветовой («нейтральной»)

чувствительности приемников электромагнитного излучения с оптическими особенностями элементов ландшафта. Это значит, что оптимизации должно предшествовать изучение оптических свойств этих элементов.

С оптической точки зрения, ландшафт представляет собой совокупность элементов, различающихся по цвету и яркости. Цвет большинства искусственных и ряда природных объектов (почвы, горные породы) сравнительно устойчив во времени, изменяется в основном яркость с изменением условий освещения и влажности. Цвет и яркость растительности изменяются и во времени и в пространстве. Они зависят от вида, возраста, физиологического состояния, качества питания и влагообеспечения и других факторов. Это усложняет изучение оптических свойств растений и приводит к непостоянству рекомендаций по выбору спектральной чувствительности приемника съемочной системы для разных моментов съемки. В съемочном процессе в качестве характеристик отражательной способности элементов ландшафта используют коэффициенты интегральной и спектральной яркости, интегральные и спектральные индикатрисы рассеяния (отражения).

Коэффициент интегральной (ахроматической) яркости, или просто коэффициент яркости ($KЯ$) – отношение интегральной яркости объекта в данном направлении B к яркости идеально рассеивающей, полностью отражающей радиацию поверхности в том же направлении наблюдения B° при одинаковых условиях их освещения:

$$r = B/B^\circ \quad (2.1)$$

Аналогично отношение монохроматических яркостей даст коэффициент спектральной яркости ($KСЯ$):

$$r_\lambda = B_\lambda/B_\lambda^\circ. \quad (2.2)$$

$KЯ$ представляются в табличной форме, и в графической (рис. 2.2).

Несмотря на огромное многообразие форм, кривые r_λ элементов ландшафта по их ходу в видимой области спектра можно разделить на три основных класса.

Первый класс включает кривые, постепенно поднимающиеся с увеличением длины волн. Они относятся к обнаженным почвам, горным породам, искусственным сооружениям, например, к дорогам, некоторым постройкам. Различаются эти кривые в основном уровнем и крутизной подъема.

Второй класс объединяет кривые, обладающие характерным возвышением в зоне около 0,55 – 0,56 мкм, понижением около 0,66 мкм и резким подъемом в начале $ИК$ области спектра. Они принадлежат растительным образованиям.

Третий класс объединяет кривые, плавно понижающиеся с увеличением длины волн. Они соответствуют поверхностям под водой, снегом, льдом.

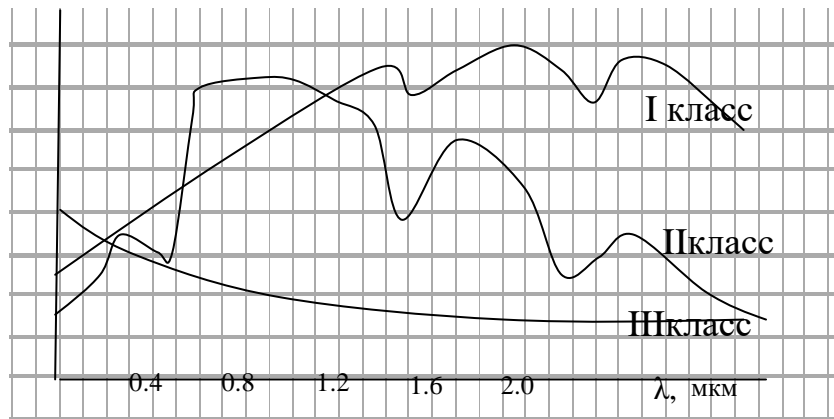


Рис. 2.2. Типичные графики КСЯ основных классов природных образований

Для решения фотометрических задач необходимо знать пространственное распределение отражаемого поверхностью данного объекта излучения. Оно характеризуется индикатрисой рассеяния, представляющей собой плавную поверхность, огибающую концы векторов r или r_λ . Индикатриса будет называться соответственно интегральной (ахроматической) или спектральной.

В практике чаще пользуются двумя сечениями индикатрисы: в плоскости главного вертикала Солнца и в перпендикулярной к ней плоскости, обозначая их азимутами A ($0 - 180^\circ$) и A ($90 - 270^\circ$) соответственно. Сечения представляются в виде таблиц или графиков (рис. 2.3).

Они в целях краткости часто называются индикатрисами.

По характеру пространственного рассеяния поверхности можно разделить на три основных типа:

гладкие, отражение от которых происходит зеркально, по направлению от источника света (рис. 2.3, а). К ним относятся: спокойная водная поверхность, снег под настом и др.

шероховатые, основная часть отражающейся энергии от которых направлена в сторону источника света (рис. 2.3, б). Ими являются вспаханные поверхности, крупноструктурный растительный покров и т. п.;

матовые, рассеивающие падающую на них лучистую энергию равномерно по всем направлениям (рис. 6, в). Такие поверхности называются ортотропными. В природе идеально ортотропные поверхности не встречаются; близки к ним ровные песчаные поверхности, плотный ровно стриженный газон и др.

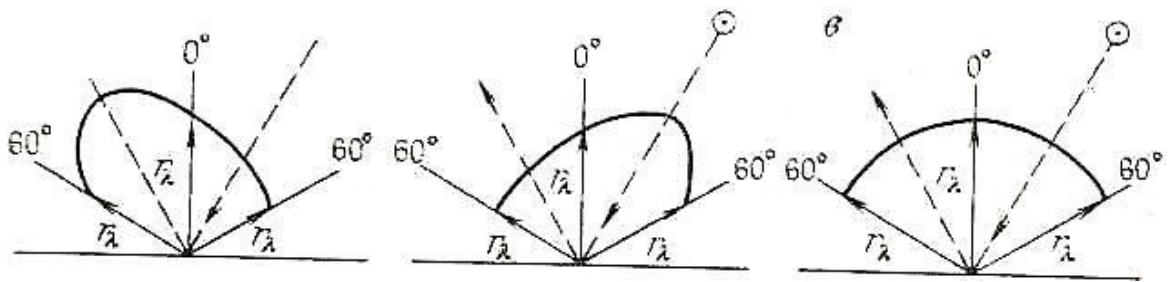


Рис. 2.3. Сечения индикатрис рассеяния основных типов поверхностей

Элементы ландшафта, в зависимости от постоянства формы индикатрис в разных зонах спектра, делят на *изохроматические* и *полихроматические*.

Первые отражают световые потоки постоянного спектрального состава во всех направлениях (обнаженные почвы и горные породы, сплошные одноярусные нецветущие растительные покровы и др.) Спектральные индикатрисы рассеяния их имеют практически постоянную форму (рис. 2.4, а).

Световые потоки, отраженные в различных направлениях вторыми, не сохраняют постоянства спектрального состава (участки под несомкнутым или многоярусным растительным покровом с различными спектральными характеристиками растений в ярусах, участки под цветущей растительностью и т. п. Непостоянство спектрального состава, отраженного ими излучения, обуславливается изменением доли участия в отражении слагающих поверхность объекта компонентов с изменением точки наблюдения. Спектральные индикатрисы рассеяния полихроматических элементов ландшафта не повторяют по форме одна другую, а иногда и пересекаются (рис. 2.4, б).

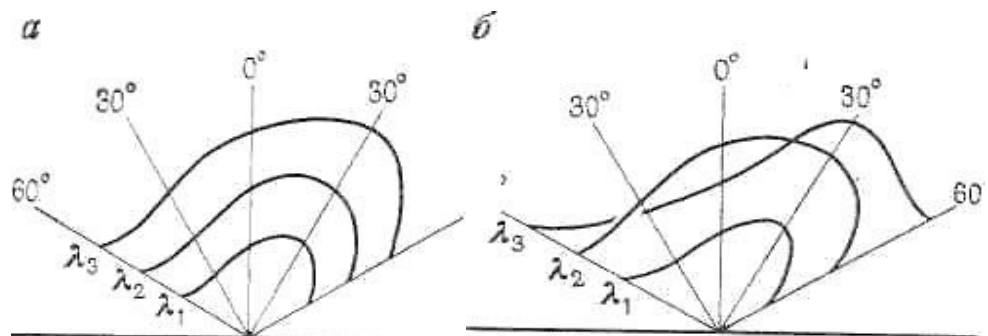


Рис. 2.4. Сечения индикатрис рассеяния изохроматических и полихроматических поверхностей

Вопрос 2.6 Аэро- и космические съёмочные системы. Классификация съёмочных систем

Аэрофотосъёмка заключается в фотографировании с воздуха земной поверхности.

Аэрофотосъёмка состоит из следующих процессов:

- 1) подготовительные работы (разработка технических условий и руководства полетом)
- 2) аэрофотографический – фотографирование местности по разработанным ранее техническим условиям.
- 3) фотолабораторный – проявление аэрофильмов, изготовление контактной печати с аэронегативов и фоторепродукций с накидного монтажа.
- 4) фотограмметрический – регистрация проявленных негативов, составление накидного монтажа и оценка качества выполненной аэрофотосъёмки.

Результатом перечисленных работ являются аэронегативы, аэроснимки, а также зафиксированные в полете показания специальных приборов.

Аэронегативы (аэроснимки) – фотографические изображения местности, покрывающие без разрывов заданный участок земной поверхности – используются для последующего преобразования и создания по ним карт и планов.

Аэрофотосъёмки классифицируются по следующим основным показателям:

- назначению;
- масштабу фотографирования;
- методу построения изображения;
- углу отклонения оптической оси АФА от вертикали – качеству и расположению фотоснимков.

1. По назначению аэрофотосъёмку делят на *топографическую и специальную*. По материалам топографической аэрофотосъёмки изготавливают топографические и специальные планы и карты, необходимые многим отраслям народного хозяйства, в том числе и органам землеустройства.

Специальные аэрофотосъёмки выполняются в целях получения систематической или оперативной информации о земной поверхности, объектах, расположенных на ней, динамики различных явлений, процессов и т.д.

2. По масштабу фотографирования выделяют:

- крупномасштабную $1:m > 1:15\ 000$
- среднемасштабную $1:16\ 000 < 1:m < 1:50\ 000$
- мелкомасштабную $1:m < 1:51\ 000$
- сверхмелкомасштабную *космическую* фотосъёмку $1:m < 1:200\ 000$

3. По способу построения изображения выделяют:

- кадровую,
- щелевую,
- панорамную аэрофотосъёмку.

При кадровой фотосъёмке – земная поверхность изображается совокупностью отдельных фотоснимков, полученных по закону центральной проекции при одновременном проецировании участка земной поверхности на

фотоматериал. Она выполняется кадровыми фотоаппаратами, к которым относятся рассмотренные нами топографические АФА.

При щелевой фотосъёмке – изображаемая земная поверхность представляется непрерывной последовательностью изображений, полученных по закону центральной проекции при поступательном перемещении центра проекции относительно аэрофотоплёнки.

Для производства щелевой фотосъёмки используются щелевые аэрофотоаппараты. Выполняться она может при любых скоростях носителя, на любых высотах фотографирования.

При панорамной фотосъёмке изображаемая земная поверхность представляется суммой отдельных полос изображений, полученных по закону центральной проекции с помощью вращающегося вокруг центра проекции пучка проектирующих лучей.

Достоинством панорамной фотосъёмки является высокая разрешающая способность изображения.

4. По углу отклонения оптической оси АФА от вертикали аэрофотосъёмку делят на:

- плановую и
- перспективную.

При *плановой* фотосъёмке угол отклонения оптической оси АФА от вертикали α_p не превышает 3° . Использование гиросtabilизирующих установок (приведение оптической оси АФА в отвесное положение при помощи гироскопов) обеспечивает получение фотоснимков с углами наклона α_p , не превышающими $20 - 40'$. Такой вид съёмки условно называют гиросtabilизированной аэрофотосъёмкой.

При *перспективной* фотосъёмке углы наклона оптической оси задаются в зависимости от назначения съёмки и числа одновременно используемых аэрофотоаппаратов.

Основным видом аэрофотосъёмки для картографических целей является плановая или гиросtabilизированная аэрофотосъёмка.

5. По количеству и расположению аэрофотоснимков различают:

- однокадровую,
- маршрутную,
- многомаршрутную аэрофотосъёмки.

При *однокадровой* фотосъёмке участок местности фотографируют на отдельные, не связанные друг с другом снимки. Её выполняют в тех случаях, когда нет необходимости в стереоскопических наблюдениях и измерениях.

При *маршрутной* фотосъёмке фотографируется полоса местности по направлению полета летательного аппарата.

В зависимости от фотографируемого объекта направление аэрофотосъёмочного маршрута может быть прямолинейным, ломаным или криволинейным (например, при съёмке рек, дорог, каналов).

Значительные по площади участки земной поверхности фотографируются с нескольких параллельных маршрутов, т.е. с использованием *многомаршрутной* аэрофотосъёмки.

Для некоторых видов может производиться спаренная аэрофотосъемка двумя аэрофотоаппаратами или синхронно с двух самолетов.

Вопрос 2.7 Фотографические съемочные системы и их характеристики: Кадровые топографические аэрофотоаппараты. Устройство аэрофотоаппарата. Аэрофотоаппараты, их устройство, типы АФА

Основным средством, позволяющим получить аэрофотоснимки, является аэроаппарат.

Аэрофотоаппарат (АФА) – оптико-электромеханическое устройство, предназначенное для фотографирования земной поверхности с различных летательных аппаратов.

По целевому назначению АФА подразделяются на топографические и нетопографические.

Топографические АФА предназначены для аэрофотографирования в картографических и измерительных целях.

Для этого топографические АФА имеют конструкцию, обеспечивающую надежную его работу и сохранность оптических характеристик объектива в сложных условиях аэрофотосъемки (вибрации, толчки, перегрузки, колебания температуры и т.д.).

Нетопографические АФА не обеспечивают получение аэрофотоснимков с высокой геометрической точностью построения изображения. Поэтому аэрофотоснимки, полученные нетопографическими АФА, могут использоваться для обследования и изучения территории, рекогносцировочных и других работ, не требующих высокой точности линейных измерений.

Типы и конструкции современных АФА различны, но все они в своей основе имеют единую принципиальную схему.

Принципиальную схему любого АФА можно представить следующим образом (рисунок 2.5):

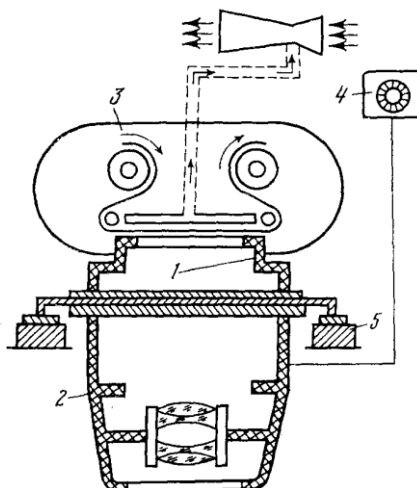


Рис. 2.5. Принципиальная схема АФА
1 – объектив; 2 – фотокамера; 3 – входная кассета; 4 – приемная кассета;
5 – командное устройство; 6 – крепление.

Фотокамера состоит из двух частей: внутреннего блока и наружного корпуса.

Внутренний блок называется оптической системой АФА, основным компонентом которой является аэрофотообъектив и аэрофотозатор. Они располагаются в нижней части системы. Верхнее основание оптической системы является плоскостью прикладной рамки, к которой в момент фотографирования прижимается фотоматериал.

На прикладной рамке имеются зубчатые выступы, которые называются координатными метками. Они отпечатываются на аэрофотоснимке и служат для определения главной точки O . Размеры отверстия в прикладной рамке определяют размер аэроснимка.

Для выравнивания аэропленки в плоскости прикладной рамки имеется специальный прижимной стол и выравнивающее стекло.

Кроме координатных меток в плоскости прикладной рамки многих АФА имеются контрольные метки, которые фиксируются на площади снимка. Чаще всего это кресты, равномерно нанесенные на поверхности выравнивающего стекла через 1 или 2 см. Контрольные метки служат для учета искажений аэрофотоснимков.

Наружный корпус фотокамеры защищает внутренний блок от механических повреждений, температурных и прочих воздействий, служит для крепления аэрофотокамеры к аэрофотоустановке и является основанием для кассеты.

Кассетная часть или **кассета** – это светонепроницаемая коробка, предназначенная для размещения светочувствительного материала, его транспортирования со сматывающей катушки на наматывающую, отмеривания необходимого отрезка аэропленки и её выравнивания перед экспонированием. Длина пленки от 60 до 180 м.

Основной характеристикой механизма кассеты является цикл работы кассеты и его продолжительность, определяющая в целом цикл работы АФА. У современных АФА продолжительность цикла работы 1,5–2 сек.

Кассетная часть чаще всего снимается, что позволяет перезаряжать АФА во время полета.

Для крепления аэрофотокамеры на летательном аппарате имеется аэрофотоустановка. Она предназначена также для ориентирования её в пространстве в заданном положении и для её виброизоляции.

Командный прибор – это часть АФА, предназначенная для дистанционного автоматического управления и контроля за работой основных узлов и механизмов АФА, а также для синхронизации их работы с дополнительными частями АФА комплекта: статоскопом, радиовысотомером, радиотехнической станцией.

Для размещения АФА в летательном аппарате предназначен фотоотсек. Различают три вида фотоотсеков:

- не имеющие герметизации;
- с частичной герметизацией, в которых сохраняется постоянство температуры, а давление не регулируется;
- герметизированные.

Каждый фотоотсек имеет защитное стекло – иллюминатор.

Цикл работы АФА включает следующие операции:

- спуск затвора, во время которого происходит синхронное фотографирование местности, показаний радиовысотомера и статоскопа;
- ликвидация вакуума и подъём прижимной доски;
- перемотка аэрофотоплёнки;
- опускание прижимной доски и создание вакуума для выравнивания аэрофотоплёнки в плоскость;
- взвод затвора.

Современные АФА делятся по следующим признакам:

1. По назначению – на топографические и нетопографические.
2. По степени автоматизации:
 - автоматические (по задан. прогр.);
 - полуавтоматические (с участием оператора);
 - неавтоматические.
3. По количеству объективов – однообъективные и многообъективные.
4. По углу поля зрения и фокусному расстоянию.

В зависимости от способа экспонирования аэроплёнки:

- кадровые
- панорамные
- щелевые.

Современные аэрофотоаппараты имеют формат кадра 18x18, 23x23 30x30 см и оснащены специальными устройствами, обеспечивающими: аэрофотосъёмку с заданным перекрытием; впечатывание в кадр сенситометрического клина и навигационных данных, автоматическое регулирование экспозиции; измерение контрастности изображения и компенсацию его сдвига, смену светофильтров, индикацию снимаемого ландшафта на мониторе.

Основные технические характеристики некоторых современных аэрофотоаппаратов приведены в таблице.

Таблица 2.1. Характеристики АФА

Тип АФА	Фокусное расстояние, мм	Разрешающая способность линий/мм	Остаточная дисторсия, мкм
АФА ТЭС-10М(РФ)	100	33	10
АФА ТЭ-50 (РФ)	500	35	10
АТ-204 (РБ)	150,300	50-100	3
RC Wild/Leica	153	120	2
RC Wild/Leica	305	107	2

Вопрос 2.8 Характеристики фотографического объектива

Основным компонентом оптической системы АФА является аэрофотообъектив и аэрофотоаппарат.

Аэрофотообъектив – представляет собой оптико-механическое устройство, оптическая часть которого предназначена для построения оптического изображения в аэрофотоаппарате.

Основными характеристиками аэрофотообъектива являются:

Фокусное расстояние – одна из величин, определяющих масштаб изображения. Обычно аэрофотообъективы фокусируются на бесконечность. Следовательно, расстояние от задней узловой точки аэрофотообъектива до фокальной плоскости АФА, в которой помещается светочувствительный слой будет всегда постоянным. Это расстояние и называется фокусным расстоянием аэрофотоаппарата.

По величине фокусного расстояния топографические аэрофотообъективы делятся на короткофокусные (до 150 мм), среднефокусные (151–300 мм) и длиннофокусные (более 300 мм). С помощью фокусного расстояния аэрофотоаппарата f определяется масштаб аэрофотографирования, величина которого

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}, \quad (2.3)$$

где H – высота аэрофотографирования, т.е. высота полета летательного аппарата при выполнении фотографирования относительно средней плоскости фотографируемого участка.

Угол поля зрения. Если через объектив, сфокусированный на бесконечность пропускать однородный пучок света, то в фокальной плоскости образуется круг, освещенность которого уменьшается от центра к краям.

Центральная часть этого круга, в которой размещается прикладная рамка аэрофотоаппарата, называется полем зрения, а угол 2β , образованный лучами, проведенными из задней узловой точки объектива S на углы прикладной рамки, называется углом поля зрения АФА.

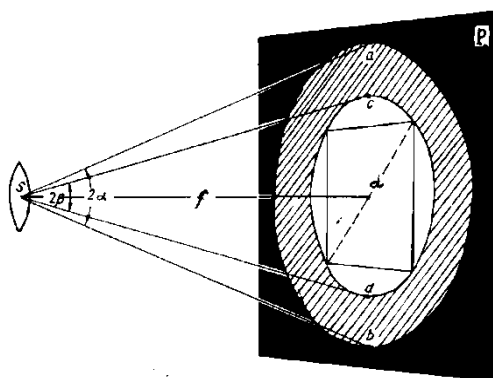


Рис. 2.6. Поле зрения и поле изображения:

S – центр объектива, f – фокусное расстояние объектива, 2α – угол зрения, 2β – угол изображения, ab – поле зрения, cd – поле изображения.

По величине угла поля зрения аэрофотоаппараты условно подразделяются на узкоугольные (менее 15°), нормоугольные ($15-60^{\circ}$) и широкоугольные (более 60°).

Из рисунка видно, что

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d}{2f} = \frac{l}{f\sqrt{2}}, \quad (2.4)$$

где d – диагональ кадра

l – сторона квадратного кадра.

Диафрагма. В объективе размещается диафрагма, представляющая собой непрозрачный экран с круглым отверстием. С помощью диафрагмы изменяется диаметр пучка световых лучей, проходящих через объектив.

Диафрагмы располагаются перпендикулярно к оптической оси, а их центры совпадают с оптической осью объектива. Диафрагмы могут быть различных конструкций.

В топографических АФА применяются преимущественно ирисовые диафрагмы, состоящие из нескольких лепестков. Эти лепестки, поворачиваясь вокруг своей оси, изменяют диаметр действующего отверстия объектива I (под которым понимают диаметр параллельного пучка лучей, проходящего через объектив от точечного источника света, расположенного в главном фокусе).

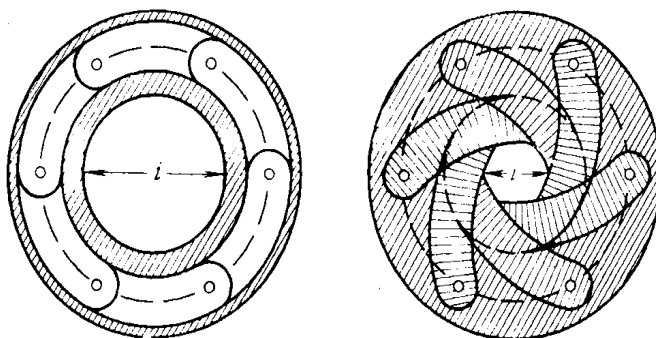


Рис. 2.7 Ирисовая диафрагма

Относительным отверстием объектива называется отношение диаметра действующего отверстия i к фокусному расстоянию объектива f . От

величины $\frac{1}{K} = \frac{i}{f}$ действующего отверстия объектива зависит яркость

получаемого оптического изображения и глубина резкости. На оправе объектива нанесена шкала, на которой указываются числа $K=f/i$, т.е. величины обратные относительному отверстию, начиная с числа, соответствующего полному открытию диафрагмы: 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22; 32.

Глубина резкости объектива – это расстояние вдоль оптической оси, в пределах которого все объекты изображаются в фокальной плоскости достаточно резко.

Степень нерезкости определяется диаметром кружка нерезкости δ . При визуальной оценке фотоизображения величина δ допускается не более 0,1 мм. На аэрофотоснимках она должна быть значительно меньше. Желательно, чтобы $\delta \leq 0,002 \div 0,005$ мм (допустимый кружок нерезкости).

Фотограмметрическая дисторсия. Важной характеристикой качества объективов топографических АФА является дисторсия – это искажение изображения, построенного объективом, приводящее к нарушению подобия изображения предмету. Оно вызывается неравномерным радиальным смещением лучей, что приводит к радиальному смещению точек изображения.

Объективы, у которых исправлена дисторсия в пределах всего поля зрения, называют фтоскопическими. У аэрофотообъективов дисторсия полностью не устраняется, а лишь сводится к минимуму и допускается в пределах 0,005–0,002 мм.

Разрешающая способность – это способность объектива отдельно изображать близкие мелкие детали объектива.

За разрешающую способность R принимается максимальное число штрихов равной толщины, которые можно различать отдельно на протяжении одного мм оптического изображения. Если через d обозначить толщину такой линии, то разрешающая способность R выразится формулой

$$R = \frac{1}{2d}. \quad (2.6)$$

Для определения разрешающей способности объектива применяют специальные таблицы – миры, представляющие собой совокупность групп линий различного направления, разделенных равными с ними по величине белыми промежутками. Получив при помощи исследуемого объектива оптическое изображение миры, рассматривают его в микроскоп и определяют максимальное число линий, видимых отдельно на одном погонном мм изображения.

Аэрофотозатвор – представляет собой устройство для пропускания в течение заданного промежутка времени света от объекта фотографирования к светочувствительному слою. Этот промежуток времени называется выдержкой.

Вопрос 2.9 Специальное аэросъемочное оборудование: радиовысотомер, статоскоп, гиростабилизирующая установка

При топографической аэрофотосъемке кроме аэрофотоаппарата на самолете устанавливают дополнительное оборудование, обеспечивающее стабилизацию съёмочной камеры, контроль высоты, скорости, прямолинейности полета, интервала между экспозициями, захода на очередной съёмочный маршрут, а также определение данных для последующей фотограмметрической обработки. С этой целью на борту

самолета устанавливают статоскоп, радиовысотомер, гиросtabilизирующую установку.

Радиовысотомер. С помощью радиовысотомеров определяют расстояния от самолета до ближайшей точки земной поверхности в момент фотографирования. Типы: РВ–10, РВ–17, РВТД.

Определение высоты фотографирования при помощи радиовысотомера основано на измерении времени t прохождения прямого радиосигнала от передающей антенны до земли и отраженного от земли до принимаемой антенны. Поэтому, расстояние D до ближайшей точки земной поверхности

$$D = c \cdot t / 2. \quad (2.7)$$

где c – скорость распространения радиоволн 300 000 км/с.

Время t фиксируется в момент открытия затвора АФА на экране электроннолучевой трубки в виде круговой развертки, шкала которой оцифрована в метрах. Показания радиовысотомера фотографируются фоторегистратором.

Точность определения высоты полета H радиовысотомером типа РВТД – 1,5 м в равнинной и холмистой местности; 2 м – в горной местности.

Статоскоп предназначен для определения разности высот фотографирования при аэрофотосъёмке. Он является жидкостным дифференциальным барометром. В манометрической трубке статоскопа находится жидкость, обладающая низкой температурой замерзания. Один конец трубки соединен с баллоном, а другой открыт.

Если клапан открыт, жидкость в коленах трубки находится на одном уровне. При включении статоскопа клапан закрывается, а в баллоне сохраняется давление, соответствующее высоте полета в момент закрывания (рис. 2.8)

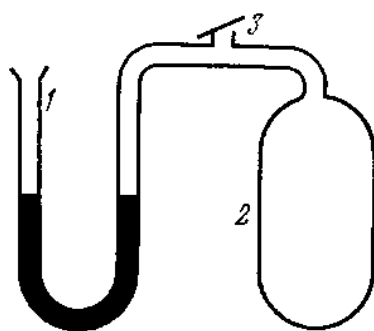


Рис. 2.8. Схема статоскопа: 1 – манометрическая трубка, 2 – баллон, 3 – клапан

При измерении высоты изменяется внешнее давление. Поэтому жидкость в коленах статоскопа займет новое положение, при котором разность давлений воздуха в баллоне и атмосферного уравновесится весом столба жидкости в барометре. Разность уровней жидкости в коленах на

момент фотографирования фиксируется специальной фотокамерой, а затем измеряется и переводится в разность высот фотографирования.

Современные статоскопы типа С-51 и С-51М являются автоматическими устройствами, обеспечивающими среднюю квадратическую погрешность определения разности высот фотографирования 1–1,5м.

Гиросtabilизирующая установка предназначена для стабилизации в полете положения съёмочной камеры и уменьшением углов отклонения её главной оптической оси от отвесной линии. В основе конструкции современных гироскопов лежит принцип волчка, стремящегося сохранить неизменным пространственное положение своей оси вращения при наклоне плоскости, на которой он установлен. Применяемые гиросtabilизирующие установки – Н-55, ТАУ, ГУТ-9 и др. используют трехстепенные гироскопы.

Вопрос 2.10 Фотографические материалы, применяемые при аэро-и космических съемках: аэрофотопленка, фотобумага и их характеристики

Аэрофотопленка является одним из основных компонентов фотографирующей системы. От ее качества существенно зависит качество будущих аэрофотонегативов, а в конечном итоге и фотопланов.

Аэрофотопленка состоит из: подложки (основы), светочувствительного (эмульсионного) слоя, защитного слоя, скрепляющего подслоя и противоореального слоя.

Светочувствительный слой изготавливают из:

- светочувствительного вещества (как правило, бромистого серебра);
- связующего вещества (желатины), обеспечивающего распределение во взвешенном состоянии микрокристаллов светочувствительного вещества;
- стабилизирующего вещества (триазолы и др.), сохраняющего фотографические свойства эмульсионного слоя и ограничивающего рост вуали;
- дубящего вещества (хромокалиевые квасцы, ацетат хрома и др.), придающего эмульсионному прочностю при низких и высоких температурах;
- оптических сенсibilизаторов – органических красителей, значительно расширяющих спектральную чувствительность (способность реагировать на различные лучи спектра) эмульсионного слоя.

Эмульсия, состоящая только из галоидного серебра, называется *несенсибилизированной*; дополнительно очувствленная к зеленым и желтым лучам спектра – *ортохроматической* и *изоортохроматической*; ко всем лучам спектра – *панхроматической*; к инфракрасным лучам – *инфрахроматической*.

Защитный слой изготавливают из хорошо задубленной желатины. Он предохраняет эмульсионный слой от царапин и других механических повреждений.

Скрепляющий подслой состоит из тонкого желатинового слоя, в который добавляются клеящие вещества для надежного скрепления эмульсионного слоя с подложкой.

Противореольный слой также состоит из тонкого слоя желатины. Он предотвращает образование ореолов, поглощая свет, отраженный от подложки, а также препятствует скручиванию аэрофотоплёнки.

Эффективная светочувствительность – это светочувствительность аэрофотоплёнки к свету, прошедшему через светофильтр. Отношение общей светочувствительности S к эффективной $S_{эф}$ называется кратностью светофильтра:

$$q = \frac{S}{S_{эф}} \quad (2.8)$$

Разрешающая способность фотоизображения на аэрофотонегативе определяется по формуле

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_n} \quad (2.9)$$

где R_0 и R_n – соответственно разрешающая способность аэрофотообъектива АФА и аэрофотоплёнки.

Цветные трехслойные аэрофотоплёнки воспроизводят изображение земной поверхности в естественных цветах. Они имеют хорошие фотографические и фотограмметрические свойства.

Фотобумага, в отличие от аэрофотоплёнки, имеет несколько иные сенситометрические характеристики. Это вызвано тем, что на фотоснимке необходимо отобразить как минимальную, так и максимальную оптическую плотность объекта.

Светочувствительность S_e фотобумаги – это величина, обратная экспозиции, соответствующей средней точке полезного интервала экспозиций.

Светочувствительность фотобумаги имеет второстепенное значение, так как выдержку при фотографической печати можно изменять в большом диапазоне.

Вопрос 2.11 Нефотографические съёмочные системы. Цифровые съёмочные системы (ЦСС) и их классификация.

В последнем десятилетии прошлого столетия за рубежом появились опытные образцы аэросъёмочных систем, в которых изображение формируется с помощью твердотельных светочувствительных элементов матричного или линейного типа.

Насыщение съёмочной и вспомогательной аппаратуры электронной и микропроцессорной техникой превратило аэрокамеры в *съёмочные системы*,

которые выполняют информационное взаимодействие со всем комплексом оборудования, используемой при съемке и послеполетной обработке данных.

В первом случае, результатом съемки являются цифровые кадровые снимки, а во втором – строки изображений, являющиеся результатом линейного сканирования, которые объединяются в изображения местности в результате соответствующих преобразований. В соответствии с этим сами камеры называют кадровыми и сканирующими.

Цифровые съемочные системы имеют малый вес, допускают использование для съемки легких летательных аппаратах, а их применение исключает необходимость фотохимической обработки полученных изображений местности и обеспечивает возможность:

- единовременной съемки в панхроматическом, красном, синем, зеленом и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах;
- интерактивного управления процессом съемки в реальном времени, визуального контроля снимков и их предварительной обработки на борту самолета;
- получения снимков высокого качества за счет использования линейной передачи яркостей объектов, высокой фотометрической точности и широкого динамического диапазона;
- повышения надежности дешифрирования объектов и расширения диапазона масштабов создаваемых картографических материалов благодаря практически полному отсутствию шумов изображений.

Большинство цифровых аэрофотосъемочных камер имеет GPS/INS-поддержку, систему компенсации сдвига изображения FMC (Forward Motion Compensation), средства гиостабилизации при съемке и др.

Однако внедрение в практику аэросъемочных и фотограмметрических работ новейших достижений науки и техники стремительно меняет ситуацию, и специалисты производства едва успевают полностью освоить одну технологию, как на смену ей идут другие, базирующиеся на совершенно иных принципах. Эксплуатация таких технологий, в силу высочайшего интеллекта применяемых инструментальных и программных средств, зачастую не требует профессионализма исполнителей и снижает квалификационные требования к ним. Возникновению такой ситуации в значительной степени способствовало:

- появление цифровых крупноформатных фотограмметрических кадровых (DMC, UltraCam и др.) и сканирующих (3-DAS, ADS40 и др.) съемочных камер;
- развитие систем лазерной локации и внедрение их для получения точной цифровой модели рельефа и поверхности;
- появление и практическое использование методов прямого геопозиционирования на базе комплексов GPS/IMU, созданных на основе интеграции методов спутниковой и инерциальной навигации;
- ускоренное развитие цифровых компьютерных технологий и специального программного обеспечения, которые базируются на

использовании новейших достижений в области обработки изображений, существенно повышают уровень автоматизации процессов фотограмметрической обработки снимков и изготовления составительских оригиналов.

Внедрение методов инерциальной и спутниковой навигации позволило отказаться от целого ряда одних вспомогательных приборов (статоскопа, радиовысотомера и др.), изменить функции других (гиростабилизирующих установок), ввести третьи (инерциальные измерительные приборы, спутниковые приемники).

Цифровые съёмочные системы классифицируют на:

1.Кадровые съёмочные системы

2.Сканирующие съёмочные системы.

В зависимости от физического принципа формирования изображения, типа его развертки и вида поверхности проектирования съёмочные системы делятся на *фотографические, телевизионные, радиолокационные, лазерные, сканирующие, оптико-электронные* и другие.

Рассмотрим принцип действия некоторых из них.

Телевизионные съёмочные системы используют в качестве датчика видеоинформации передающие телевизионные трубки. Полученное изображение транслируется на Землю по радиотелевизионным каналам в режиме реального времени, либо предварительно записывается на магнитный носитель. Если телевизионное изображение вначале строится в фокальной плоскости приемной оптики, то оно соответствует законам центрального проектирования. Если же оно формируется путем линейно-однострочного сканирования, то его геометрия аналогична геометрии сканерных снимков.

Лазерные сканирующие системы основаны на использовании полупроводникового лазера ближнего инфракрасного диапазона, работающего в импульсном режиме. Одна из возможных схем такой системы предполагает лазерное облучение полосы местности и последующий прием отраженных сигналов, интенсивность которых определяется отражательной способностью объектов местности. Причем, в каждом элементарном измерении регистрируется наклонная дальность и значения углов, определяющих направление распространения зондирующего луча в системе координат локатора.

Сканирующие съёмочные системы основаны на использовании оптико-механических устройств, представляющих собой быстро качающееся зеркало (около 1000 колебаний в секунду). Попадающие на его поверхность фрагменты изображения местности направляются через зеркальный объектив на точечный приемник, который преобразует лучистую энергию в электрический сигнал. Этот сигнал заносится на магнитный носитель в виде цифрового кода, зависящего от амплитуды сигнала, и в последующем передается на Землю. Как правило, различается 256 уровней видеосигнала, соответствующих изменению яркости объектов.