

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

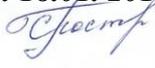
Кафедра «Землеустройство и кадастры»

**ОДОБРЕНА:**

Кафедрой ЗиК  
Протокол от 13.12.2017г. №4

Зав. кафедрой  /О.Б. Мезенина/

Методической комиссией ИЛП  
Протокол от 18.01.2018г. № 5

Председатель   
/С.С. Постникова/

**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор ИЛП



З.Я. Нагимов

18.01.2018г.

**ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б.1.Б.15 Фотограмметрия и дистанционное зондирование**

---

Направление (специальность) 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»  
(квалификация «бакалавр»)

Программа подготовки: прикладной бакалавриат

Профиль (специализация) Кадастр недвижимости

Количество зачетных единиц (трудоемкость, час) – 4 / 144

Разработчик программы к.с.-х.н., доцент кафедры «Землеустройства и кадастры» \_\_\_\_\_ П.А.Коковин

Екатеринбург, 2018

## Содержание

Пояснительная записка	2.
Введение	2.
1. Трудоемкость дисциплины по рабочему плану	3.
2. Цель и задачи дисциплины.	3.
3. Место дисциплины в учебном процессе	3.
4. Требования к результатам освоения дисциплины	3.
5. Объем дисциплины и виды учебной работы	4.
6. Содержание дисциплины	5.
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	7.
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8.
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	9.
10. Приложения	10.

### **Пояснительная записка к рабочей программе «Фотограмметрия и дистанционное зондирование»**

#### **Введение**

Формирование рыночных отношений, интеграция отечественной экономики в мировую систему хозяйствования приводят к усилению значимости рационального использования земельных ресурсов и их роли в управлении хозяйственной деятельностью. Знание фотограмметрии и дистанционного зондирования позволяет бакалаврам грамотно использовать знания этой дисциплины в установлении границ земельных участков, постановки их на кадастровый учет, проектировании в землеустройстве, проведении изысканий.

При разработке программы учебной дисциплины «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» в основу положены:

- ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавров 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», утверждённый приказом Министерства образования и науки РФ от 1.10.2015 г. № 1084;
- Учебный план направления 21.03.02 Землеустройство и кадастры, профиль Земельный кадастр одобрен ученым советом ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» протокол № 2 от 16.02.2016
- Стандарт вуза СТБ 1.2.1.3-00-2018. Система менеджмента качества образования. Программа учебной дисциплины. Требования к содержанию и оформлению.

Дисциплина читается на 3 курсе.

**1. Цели и задачи дисциплины:** Целью преподавания дисциплины «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» является формирование у студента чёткого представления о технических средствах производства фотосъёмки и методах фотограмметрической обработки фотоснимков при топографо-геодезических изысканиях, создании и обновлении топографических планов, для решения инженерных задач при землеустройстве и кадастровых съёмках в производственно-технологической, проектно-изыскательской, организационно-управленческой и научно-исследовательской деятельности.

**2. Место дисциплины в структуре ООП:** Данная учебная дисциплина входит в раздел «Б.1Б.17 Профессиональный цикл. Базовая часть дисциплин ФГОС по направлению подготовки ВО «Землеустройство и кадастры» Для изучения дисциплины у обучающихся необходимы компетенции, сформированные в период учёбы в общеобразовательной школе и в результате освоения дисциплин ООП подготовки бакалавра: высшей математики, информатики, физики, геодезии, картографии.

**3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способностью использовать знания современных технологий проектных, кадастровых и других работ, связанных с землеустройством и кадастрами (ОПК-3)

– Способностью проведения и анализа результатов исследований в землеустройстве и кадастрах (ПК-5).

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** основные методы фотограмметрического сгущения опорной сети и современные технологии создания по фотоснимкам фотодокументов (фотосхем, фотопланов), топографических карт (планов), цифровых моделей изучаемого объекта и их использование для решения инженерных задач.

**Уметь:** разработать проект производства аэрофотосъемки для топографического картирования или решения инженерной задачи; разработать проект производства геодезических работ по обеспечению фотоснимков опорными точками;

Обосновать рекомендуемый метод фотограмметрической обработки фотоснимков.

**Владеть:** аэрофотосъемочной аппаратурой (аэрофотоаппараты, специальные приборы), фотограмметрическими приборами.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы или 144 часа.

##### 4.1 Трудоемкость дисциплины по рабочему плану – 144 часа.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		6			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54			
В том числе:				-	-
Лекции	22	22			
Практические занятия (ПЗ)					
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)	32	32			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	54	54			
В том числе:	-	-		-	-
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы	20	20			
Реферат	14	14			
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	30	30			
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36	36			
<b>Общая трудоемкость</b>	144	144			

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Содержание разделов дисциплины

**Раздел 1 Задачи и содержание курса.** Связь курса со смежными дисциплинами специальности. Краткий исторический очерк развития фотограмметрии.

**Раздел 2. Оптические и геометрические основы фотограмметрии.** Построение изображения в оптической системе–фотокамере. Характеристика фотографических объективов и фотоматериалов. Центральная проекция и её свойства.

**Раздел 3. Аэрофотосъёмка.** Виды аэрофотосъёмки. Технические средства аэрофотосъёмки. Лётно-съёмочные работы. Расчёт параметров аэрофотосъёмки. Составление полётной карты. Оценка качества материалов аэрофотосъёмки. Особенности производства съёмки из космоса. Технические средства зондирования территорий.

**Раздел 4. Аналитические основы одиночного снимка.** Системы координат точек местности и снимка. Элементы ориентирования снимка. Связь между пространственными и плоскими координатами точки снимка. Связь между координатами точки местности и координатами её изображения на снимке. Дифференциальные формулы плоских координат точки одиночного снимка. Определение элементов внешнего ориентирования снимка. Связь между координатами точки наклонного и горизонтального снимков. Масштаб снимка. Смещение точки снимка, вызванное рельефом местности и его наклоном. Погрешности направлений, вызванные рельефом местности и углом наклона снимка. Особенности геометрических свойств космического снимка. Физические источники ошибок снимка.

**Раздел 5. Трансформирование снимков.** Сущность и способы трансформирования снимков. Приборы для трансформирования снимков. Технология трансформирования снимков равнинной и холмистой местности. Составление фотопланов и фотосхем.

**Раздел 6. Стереоскопическое зрение и измерение снимков и модели.** Основы стереоскопического зрения. Стереозэффект. Способы измерения координат точек снимков и модели. Стереоскопы. Стереоскомпараторы.

**Раздел 7. Теория стереоскопической пары снимков.** Стереоскопическая пара снимков. Элементы ориентирования пары снимков. Зависимость между координатами точки местности и координатами её изображения на паре снимков. Элементы взаимного ориентирования пары снимков. Уравнения взаимного ориентирования пары снимков и их анализ. Определение элементов взаимного ориентирования пары снимков. Построение пространственной модели местности на аналоговом приборе. Элементы внешнего ориентирования модели и их определение. Погрешности

определения координат точек местности по измерениям пары аэроснимков. Построение модели объекта местности с преобразованием связей проектирующих лучей.

**Раздел 8. Наземная фототеодолитная съёмка.** Системы координат наземной фотограмметрии. Элементы ориентирования наземного снимка и пары снимков. Виды съёмки. Связь между пространственными и плоскими координатами точки наземного снимка. Зависимости между координатами точки местности и координатами её изображений на паре наземных снимков. Расчёт параметров фототеодолитной съёмки.

**Раздел 9. Технические средства стереофотограмметрии.** Назначение классификация универсальных стереофотограмметрических приборов (УСП). Оптические, оптико-механические и механические УСП. Аналитические УСП. Фотограмметрическая обработка снимков на УСП. Ортофототрансформаторы и их назначение.

**Раздел 10. Дешифрирование аэроснимков.** Определение. Виды и методы дешифрирования снимков. Дистанционные методы изучения окружающей среды. Дешифровочные признаки.

### **5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

Сведения об обеспечивающих, сопутствующих и обеспечиваемых дисциплинах

№	Обеспечивающие	Сопутствующие	Обеспечиваемые
1.	Геодезия (ключевая)	Основы градостроительства и планировка населенных мест.	Управление земельными ресурсами
2.	Математика	Экономика землепользования	Земельный кадастр и мониторинг земель
3	Информатика	Картография	Землеустройство
4	Физика		Организация и планирование кадастровых работ

### 5.3. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	СРС	Все-го часов.
1.	Термины и определения, цель и задачи курса	2	2	4	8
2.	Оптические и геометрические основы фотограмметрии	2	4	6	12
3	Аэрофотосъёмка	2	4	6	12
....					
4	Аналитические основы одиночного снимка	2	4	6	12
5	Трансформирование снимков	2	2	6	10
6	Стереоскопическое зрение и измерение снимков и модели.	2	4	6	12
7	Теория стереоскопической пары снимков	4	2	8	14
8	Использование беспилотных летательных аппаратов в землеустройстве	2	4	4	10
9	Технические средства стереофотограмметрии	2	2	4	8
10	Дешифрирование снимков	2	4	4	10
11	Контроль знаний				36
Итого		22	32	54	108

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

#### Учебно-методическое обеспечение дисциплины

№ п/п	Авторы, наименование	Год изд.	Кол. экз.	Кол. обуч.	Коэф. обес.
<b>Основная</b>					
1	Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. Научные основы фотограмметрии и дистанционного зондирования (Электронный учебник), Москва, 2014.	2014	20	15	1.33
2	Павлов В.И. Фотограмметрия. Теория одиночного снимка и стереоскопической пары снимков. СПб, 2006.	2006	0	15	0
3	Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983.	1983	5	15	0.34
4	Обиралов А.И., Лимонов А.Н. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: Учебник. – М.: КолосС, 2006. – 334 с.	2006	10	15	0.67
5	Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков. – М.: ИД «Альянс», 2008.	2008	1	15	0.070
6	Лобанов А.Н. Фотограмметрия. – М.: ИД «Альянс», 2008	2008	1	15	0.07
7	Назаров А.С. Фотограмметрия: Уч. пос. д/ВУЗов. – М.:				

	МАТИЦА, 2006. – 368 с.	2006	1	15	0.07
<b>Дополнительная</b>					
1	Бруевич П.Н. Фотограмметрия. М.: Недра, 1990	1990	3	15	0.20
2	Келль Л.Н. Фотограмметрия.. М. Недра,1989.	1989	1	15	0.07
3	Лаврова Н П. и др. Аэрофотосъёмка. Автоматизация аэросъёмочного процесса. М: Недра, 1985	1985	2	15	0.14
4	Лобанов А.Н. и др. Фотограмметрия. М.: Недра, 1987	1987	3	15	0.20
5	Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М.: Недра, 1984	1984	3	15	0.20

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Электронный каталог УГЛТУ [Электронный ресурс] : система автоматизации библиотек «ИРБИС 64» : версия : 2009.1 : база данных содержит сведения о книгах, брошюрах, диссертациях, промышленных каталогах, отчетах о НИР и ОКР, стандартах, компакт-дисках, статьях из научных и производственных журналов, продолжающихся изданий и сборников, публикациях сотрудников УГЛТУ. – Электрон. дан. – Екатеринбург, 1994- . – Режим доступа: <http://catalog.usfeu.ru>
2. Межрегиональная аналитическая роспись статей (МАРС) [Электронный ресурс] : база данных содержит аналит., библиогр. записи на статьи из отечеств. период. изданий [объединяет 192 б-ки, аналитическая роспись 1715 журн.] / рук. проекта И. В. Крутихин ; Ассоц. регион. библио. консорциумов. – Электрон. дан. (более 300 тыс. записей). – Санкт-Петербург [и др.], 2001– . – Режим доступа: <http://mars.arbicon.ru>.
3. Информационно-правовой портал Гарант.Ру [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.garant.ru/>
4. КонсультантПлюс Некоммерческая интернет-версия [Электронный ресурс] Справочная правовая система [установленные информационные банки: законодательство, судебная практика, финансовые и кадровые консультации, консультации для бюджетных организаций, комментарии законодательства, формы документов, проекты правовых актов, международные правовые акты, правовые акты по здравоохранению, технические нормы и правила]. - Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online>
5. Elibrary.ru [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система: база данных содержит сведения об отечественных книгах и периодических изданиях по науке, технологии, медицине и

- образованию / Рос. информ. портал. – Москва, 2000– . – Режим доступа: <http://elibrary.ru>.
6. Национальный цифровой ресурс «Рукопт» [Электронный ресурс] : электронная библиотечная система : содержит учебники, учебные пособия, монографии, конспекты лекций, издания по основным изучаемым дисциплинам. – Москва, 2011– . – Режим доступа: <http://rucont.ru>.
  7. Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система : содержит электронные версии книг издательства «Лань» и других ведущих издательств учебной литературы, так и электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. – Москва, 2010– . Режим доступа: <http://e.lanbook.com>
  8. ZNANIUM.COM: Электронно библиотечная система [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://znanium.com/>
  9. ИС ЭКБСОН (Информационная система доступа к электронным каталогам библиотек сферы образования и науки в рамках единого интернет-ресурса). [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://lib.usfeu.ru/index.php/internet-resursy/193.233.14.23/>
  10. [www.geo-science.ru](http://www.geo-science.ru) / Науки о Земле – Geo-Science
  11. [www.rudngeo.wordpress.com](http://www.rudngeo.wordpress.com) / Геодезия на Аграрном факультете РУДН
  12. [www.navgeokom.ru](http://www.navgeokom.ru), [www.agp.ru](http://www.agp.ru) / АГП Навгеоком
  13. [www.geoprofi.ru](http://www.geoprofi.ru) / Журнал «Геопрофи»
  14. [www.gisa.ru](http://www.gisa.ru) / ГИС Ассоциация
  15. [www.profsurv.com](http://www.profsurv.com) / Журнал “Professional Surveyor”
  16. [www.mcх.ru](http://www.mcх.ru) / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
  17. [www.economy.gov.ru](http://www.economy.gov.ru) / Министерство экономического развития Российской Федерации
  18. [www.kadastr.ru](http://www.kadastr.ru) / Федеральное агентство кадастра объектов недвижимости Российской Федерации
  19. [www.mgi.ru](http://www.mgi.ru) / Федеральное агентство по управлению государственным имуществом Российской Федерации
  20. [www.msh.mosreg.ru](http://www.msh.mosreg.ru) / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Московской области
  21. [www.roskadastre.ru](http://www.roskadastre.ru) [www.mgi.ru](http://www.mgi.ru) / Некоммерческое партнерство «Кадастровые инженеры»

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Беспилотный летательный аппарат

Ноутбук, проектор, стереоскопы, фотоснимки,

Компьютерный класс

Электронные тесты проверки промежуточных знаний

Электронный учебник.

## **Приложения:**

### Приложение 1.

#### **Вопросы к экзамену.**

1. Предмет фотограмметрии.
2. Основные виды и методы фотограмметрических съёмок.
1. Съёмочные системы.
2. Краткие сведения из истории фотограмметрии.
3. Принципиальная схема фотосъёмочного аппарата
4. Производство аэрофотосъёмки.
5. Способы стереоскопического наблюдения снимков.
6. Теория одиночного снимка
7. Центральная проекция, элементы центральной проекции.
8. Системы координат, применяемые в фотограмметрии.
9. Элементы ориентирования снимка.
10. Масштаб горизонтального снимка.
11. Элементы ориентирования стереопары.
12. Наземная фотограмметрическая съёмка.
13. Переход от фотограмметрических координат к геодезическим.
14. Влияние погрешностей элементов внешнего ориентирования.
15. Влияние погрешностей определения элементов внутреннего ориентирования.
16. Трансформирование аэрофотоснимков.
17. Техника трансформирования снимков на фототрансформаторе.
18. Продольные и поперечные перекрытия. Рабочая область негатива.
19. Оценка фотограмметрического и фотографического качества съёмки.
20. Составления проекта лётно-съёмочных работ.
21. Технические требования к топографической съёмке.
22. Аэрофотопленка, фотобумага и их характеристики.
23. Негативные и позитивные процессы.
24. Значение сенситометрических исследований для аэрофотосъёмки.
25. Характеристики АФА.
26. Беспилотные летательные аппараты и классификация и область применения.
27. Съёмочные системы



## 2. Основные виды и методы фотограмметрических съёмок.

Можно выделить следующие виды съёмок местности:

- 1) Аэрофотосъёмка – съёмка местности с воздуха;
- 2) Космическая съёмка – с высоты 300 - 500 км;
- 3) Наземная съёмка – съёмка с фотоаппаратом соединённого с теодолитом (фототеодолитная).

По технике исполнения съёмки бывают:

- 1) Съёмка оптическим фотоаппаратом на фотоплёнку или фотографическая съёмка;
- 2) Цифровая – это съёмка с записью информации на электронном носителе, как в любительском цифровом фотоаппарате;
- 3) Радиолокационная съёмка;
- 4) Съёмка в инфракрасном диапазоне с записью на плёнку или электронный носитель;
- 5) Телевизионная.

По виду записи на плёнку или электронный носитель съёмки бывают:

- 1) Кадровые (когда на один кадр плёнки передаётся вся информация мгновенно);
- 2) Сканерная – когда информация записывается построчно, оптический луч или луч лазера освещает каждую строку местности.

## 3. Краткий исторический очерк развития фотограмметрии.

В основном развитие фотограмметрии началось в связи с изобретением фотографии. Первая фотография возникла в конце XIX в, а именно начиная с 50 – х годов этого века.

Второй этап развития фотограмметрии начался в первой половине XX столетия, когда изобретались приборы для измерения снимков (определение координат точек по снимкам).

Третий этап, длившийся до 1990 года, связан с развитием аналитической фотограмметрии, в этом случае координаты точек местности измерялись на снимке, а по определенным формулам вычислялись координаты точек в системе координат местности.

Начиная с 1990 года – начался четвертый этап развития фотограмметрии, когда изображение представляется в цифровой форме и обрабатывается на компьютере.

## Лекция 2. Основы аэрокосмических съёмок.

1 Понятия об аэрокосмических съёмках

2 Съёмочные системы

### 1. Понятия об аэрокосмических съёмках

Виды аэрофотосъёмок:

1. Кадровая
2. Сканерная
3. Панорамная
4. Многозональная
5. Инфракрасная (Тепловая)
6. Радиолокационная
7. Телевизионная

Съёмки 3 и 7 и кадровыми и сканерными. Физическая суть их определяется длиной волны излучения или облучения. объекта. Можно привести следующие длины волн.

Длина волны излучения	Излучение
1 Нм	Рентгеновское
10-100 Нм	Ультрафиолетовое

1-10 Микрон	Видимая
10 Микрон – 1мм	Инфракрасное (Тепловое)
1 – 100 мм	Микроволновое
1 м – 100 км	Радиолокационное

### Кадровая съёмка.

Из центра выполняется съёмка местности. Снимок местности – кадр.

### Панорамная.



В начале наводится на точку А местности, потом медленно поворачивается по ходу часовой стрелки и отслеживается полоса местности от А до В. Через щель А - В происходит запись на плёнку.

### Многозональная.

В этой съёмке каждый объектив камеры пропускает определённую зону спектра. Плёнок должно быть столько, сколько и объективов. Если мы имеем 3 объектива, нужно 3 плёнки – RGB.

### Спектральная.

Базируется на фотоплёнке каждый слой которой чувствителен к определённой зоне спектра.

### Тепловая.

Съёмка на плёнку чувствительную к теплу. Тепло передаётся инфракрасными лучами.

### Радиолокационная.

Съёмка с помощью радиоволн.

### Телевизионная.

Съёмка с помощью видео.

## **2. Съёмочные системы**

Съёмочные системы бывают:

- Активные
- Пассивные

Активные – системы облучающие земную поверхность лучами определённого диапазона спектра.

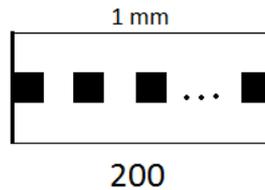
Пассивные – системы использующие только отражённые волны.

### Критерии систем.

Главная характеристика любой съёмочной системы - разрешающая способность.

Разрешающая способность – число линий (полосок) воспроизводимая в 1 мм изображения.

Разрешающая способность 100 – это значит:



Разрешающая способность бывает:

- Линейная

$$R = \frac{1}{2\Delta},$$

где  $\Delta$ - длина наименьшего видимого отрезка

- Спектральная – минимальная ширина спектральной зоны в которой производится съёмка.

Для фотограмметрических систем она составляет 50 Нм.

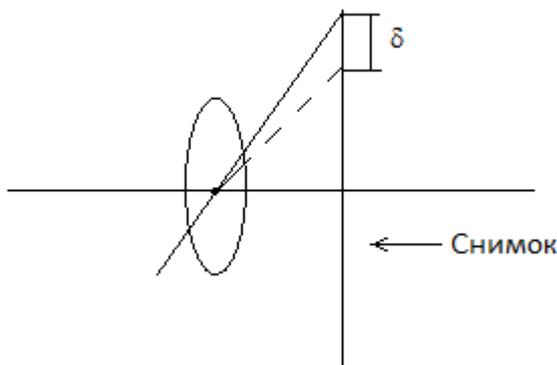
**К следующим характеристикам систем относится точность:**

- Фотограмметрическая

- Фотометрическая

**Фотограмметрическая точность** определяется качеством оптической системы(объектива). В оптической системе лучи характеризуются прямолинейностью и параллельностью. Отклонение от этих двух характеристик ведёт к понижению фотограмметрической точности объекта.

Например преломление луча ведёт к искажению  $\delta$ .



$\delta$  - дисторсия

В современных объективах дисторсия порядка 1 микрона (незначительная).

Фотограмметрическая точность связана с качеством светочувствительного слоя, фильтров пропускающих свет того или иного диапазона. Также фильтры должны ликвидировать помехи связанные с задымленностью атмосферы и другими помехами.

## Тема: Аэрофотоаппараты и специальное аэросъемочное оборудование

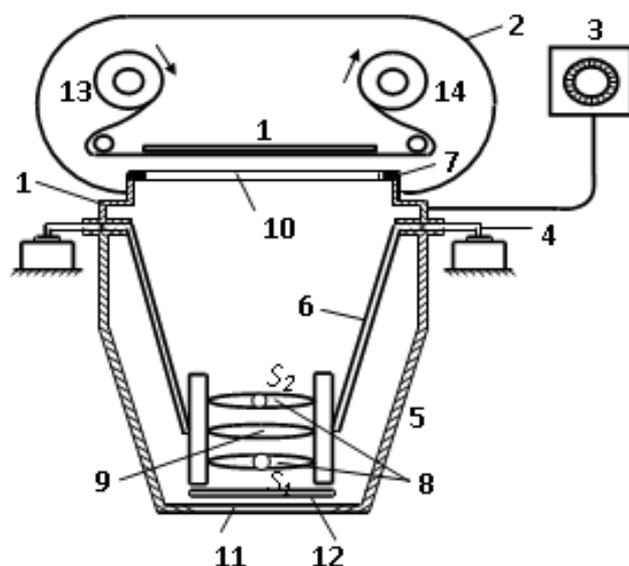
1. Аэрофотоаппараты и их характеристики
2. Характеристики объектива
3. Построение изображения в АФА
4. Специальное аэросъемочное оборудование

### 1. Аэрофотоаппараты и их характеристики

- 1-Фотокамера
- 2-Кассета
- 3- командный прибор
- 4- аэрофотоустановка
- 5- корпуса
- 6- объективного блока
- 7- прикладной рамки
- 8- объектив
- 9- диафрагма
- 10- выравнивающие плоскопараллельное стекло
- 11- защитное стекло
- 12- светофильтры
- 13,14- сматывающая и наматывающая катушки
- 15- пружинный стол кассеты

Характеристики АФА:

1. Фокусное расстояние
2. Поле и угол зрения изображения
3. Светораспределение по полю зрения
4. Диафрагма
5. Светосила
6. Глубина резкости
7. Разрешающая способность
8. Искажение (дисторсия)



Фотоаппараты			
АФА	Фокусное расстояние(мм)	Разрешающая способность	Дисторсия(мкм)
ТЭС – 10М (РФ)	100	33	10
АТ – 204 (РБ)	150, 300	100	3
RC Wild	153	120	2

Требования к АФА

- a. Дисторсия должна быть  $< 1$  мкм
- b. Точность выравнивания фотопленки 1 мкм
- c. Сдвиги и вибрации аппарата не более 50 мкм
- d. Компенсация сдвига изображения
- e. Элементы внутреннего ориентирования камеры должны быть постоянны

Элементами внутреннего ориентирования являются фокусное расстояние ( $f$ ) АФА,

$X_0, Y_0$  – координаты главной точки снимка в системе координат снимка ХУ

Система координат снимка определяется координатными метками. Координатные метки фотографируются с прижимной рамки на фотопленку.

Аэрофотоустановки (4) бывают плановые – угол наклона не превышает  $3^0$ , перспективные – угол наклона больше  $3^0$ , геростабилизирующие – обеспечивают отвесность положения оптической оси камеры с точностью 1 минута, качающие.

Командные приборы (3) бывают с компенсацией сдвига изображения, с определением интервалов фотографирования, с компенсацией скорости движения изображения, с регулированием экспозиции.

### Компенсация сдвига изображения.

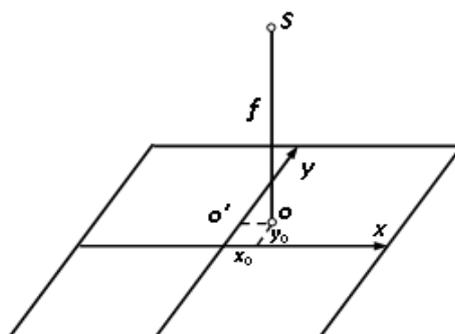
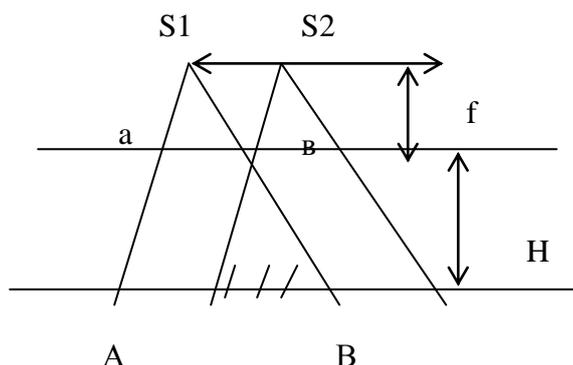
Пусть при сканерной съемке шель сканирования сдвигается из точка А в точку В.

Фотоаппарат движется из точки  $S_1$  в точку  $S_2$ , за время  $T$ , при скорости  $W$ .

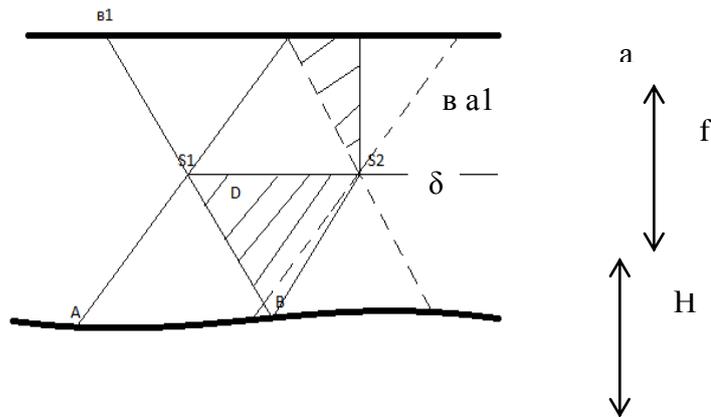
Будет пройдено расстояние  $D=W*T$ . При передвижении в точку  $S_2$  изображение точки В будет в, точка а остается неизменной. Если бы съемка была кадровой, то точки в1 и в совпали бы, при чем положение точки в1 правильное, положение точки в – неправильное, полученное в результате сдвига.

Выразим  $\delta$  через  $f$  и  $H$  (фокусное расстояние и высоту фотографирования). Рассмотрим два подобных треугольника. Очевидно, что  $\frac{\delta}{D} = \frac{f}{H}$ , отсюда следует, что  $\delta = \frac{f}{H} \times D$ , где

$\frac{f}{H}$  – масштаб аэрофотосъемки



Элементы внутреннего ориентирования снимка



$$\frac{aB}{AB} = \frac{f}{H}, \frac{aB}{AB} = \frac{1}{m}, \frac{f}{H} = \frac{1}{m}$$

$\delta = \frac{1}{m} \times D$ , отсюда следует, что  $\delta = \frac{W \times T}{m}$

Методы компенсации сдвига:

1. Линейный, когда пленку смещают на  $\delta$ , в сторону движения со скоростью  $\frac{W}{m}$
2. Угловой, для этого в точке  $S_2$  камера поворачивается, чтобы точка  $B$  и  $B_1$  совпали

Определение интервала фотографирования:

Интервал фотографирования нужен для того чтобы обеспечить продольное перекрытие снимков.

$P$  – величина продольного перекрытия, выразим в % от размера снимка.

Стандартные размеры  $18 \times 18$ ,  $23 \times 23$ ,  $30 \times 30$

Расстояние между точками  $S_1$  и  $S_2$  обозначим через  $B$  – базисное фотографирование.

$W$  – путевая скорость

Очевидно, что интервал фотографирования

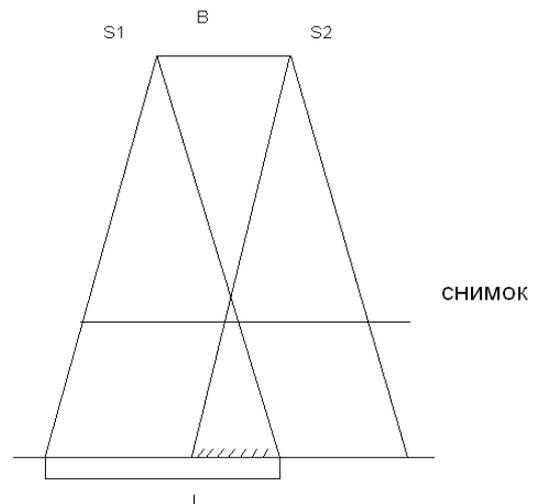
$$\tau = \frac{B}{W}$$

$L$  – размер снимка

$$B = l - p \times l = l \times (1 - p)$$

$$L = l_c \times m$$

$\tau = \frac{l \times (1 - p)}{W} = \frac{l_c \times m \times (1 - p)}{W}$  – выражает зависимость интервала фотографирования от формата снимка, масштаба, величины продольного перекрытия.



Компенсирование скорости движения изображения это обратная задача к компенсации сдвига изображения (учитывается движение объекта) и сохраняется синхронность движения пленки и носителя.

Регулирование экспозиции:

Экспозиция регулируется величиной диафрагмы и выдержки.

Диафрагма – отверстие, через которое проходит световой поток.

Выдержка – время, в течение которого световой поток проходит через диафрагму.

Затворы:

Затвором определяется величина диафрагмы и выдержки.

Затворы бывают:

1. Жалюзийные
2. Шторные
3. Центральные
4. Ленточные
5. Щелевые.

## 2. Характеристики объектива в АФА

Характеристики объектива:

1. фокусное расстояние
2. поле и угол зрения
3. светораспределение по полю зрения
4. диафрагма
5. светосистема
6. глубина резкости
7. разрешающая способность
8. дисторсия

## 3. Построение изображения в АФА

С тем чтобы рассмотреть детально эти характеристики рассмотрим построение изображения в АФА.

Автоматически выдерживается в любительских фотоаппаратах.

В аэрофотоаппаратах фокусное расстояние постоянно, а сам снимок находится в фокальной плоскости.

Глубина резкости объектива – наименьшее расстояние от объектива до предмета, при котором на негативе появляется чёткое изображение предмета.

Найдём зависимость  $\delta$  от следующих величин :

$f$ - фокусное расстояние

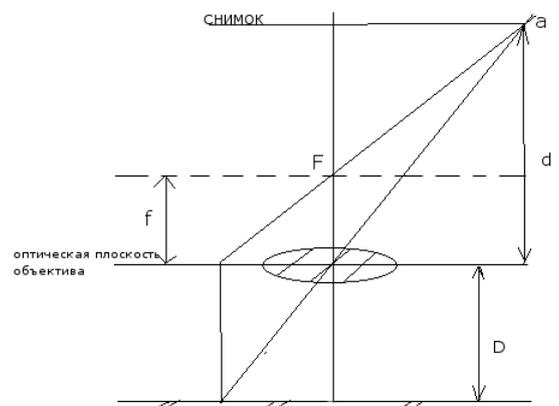
$i$ -величины диафрагмы

$D$ - расстояния

В основу вывода положим 2 формулы линзы:

$$f^2 = x'x$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D} + \frac{1}{d}$$



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \text{ - формула линзы}$$

$$\frac{x}{\delta} = \frac{d}{f}; \quad \delta = \frac{x \cdot f}{d},$$

где d и x' выразим через фокусное расстояние и D

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{D} = \frac{1}{d};$$

$$\frac{1}{d} = \frac{D-f}{fD};$$

$$d = \frac{fD}{D-f};$$

$$x' = \frac{f^2}{x};$$

$$x' = \frac{f^2}{D-f};$$

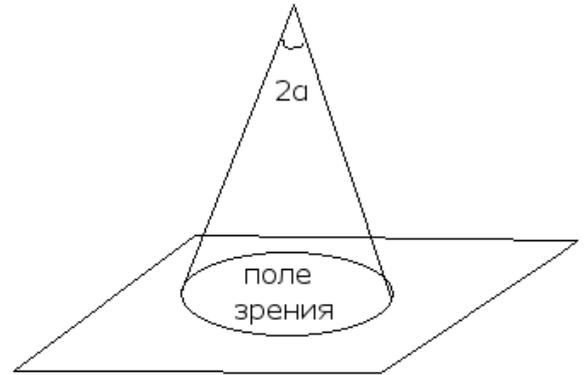
$$\delta = \frac{f^2}{D-f} * \frac{(D-f) \cdot i}{Df};$$

$$\delta = \frac{f \cdot i}{D};$$

$$\delta = 0.001 = 1 \text{ мкм}$$

$$\delta_{min} = \frac{f \cdot i}{D_{max}};$$

$$D_{max} = \frac{f \cdot i}{\delta_{min}}$$



- гиперфокальное расстояние

Дадим определение другим характеристикам:

Фокусное расстояние – расстояние от оптического центра объектива до его фокуса.

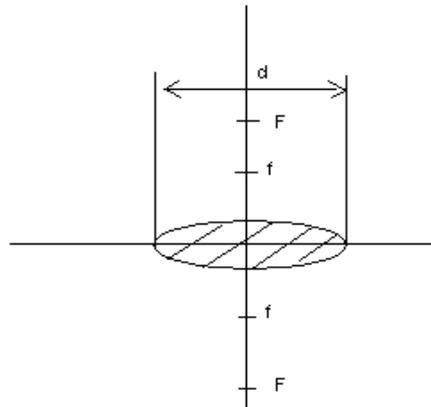
Угол поля зрения – часть изображения в пределах которой наблюдается минимальная освещённость.

Угол зрения – угол  $2\alpha$  между лучами геометриально противоположным точкам поля зрения

Поле изображения – часть изображения в границах которой яркость постоянна.

Светораспределение – освещённость, создаваемая в фокальной плоскости, она уменьшается на краях изображения.

Диафрагма – отношение диаметра действительного отверстия к фокусному расстоянию.



$$\frac{1}{K} = \frac{d}{f}$$

Пропускная способность объектива – может определяться отношением светового потока падающего на объектив и прошедшего через объектив.

### 3. Специальное съемочное оборудование

Специальное съемочное оборудование предназначено для определения характеристик аэрофотосъемки, таких как высота полета, выдержка, диафрагма, координаты точки фотографирования или центра объектива.

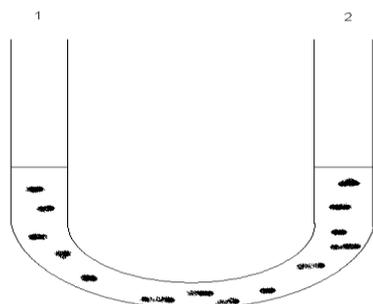
Для определения фотографирования используются следующие оборудования:

**статоскопы**

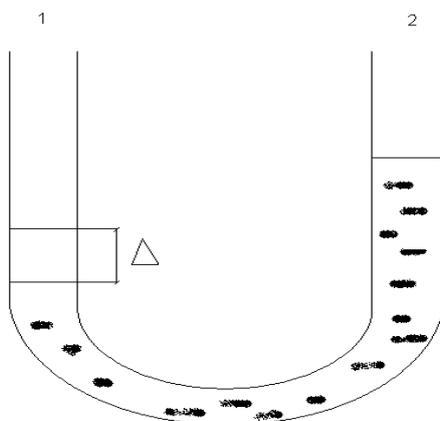
**радиовысотомеры**

**Принцип действия статоскопа:**

В стартовом положении носителя жидкость в сообщающемся сосуде находящийся в уравновешенном состоянии.



В полете клапан 2 с увеличением давления фиксирует разность уровней жидкости  $\Delta$  и по этой разности определяют разность высот.



Статоскоп может работать на принципе измерения разности давления  $\Delta p$ , тогда превышение  $\Delta H = \Delta p \cdot q_H$ , следовательно превышение  $\Delta p = \frac{\Delta p}{q_H}$ ; где  $q_H$  – это барометрическая ступень.

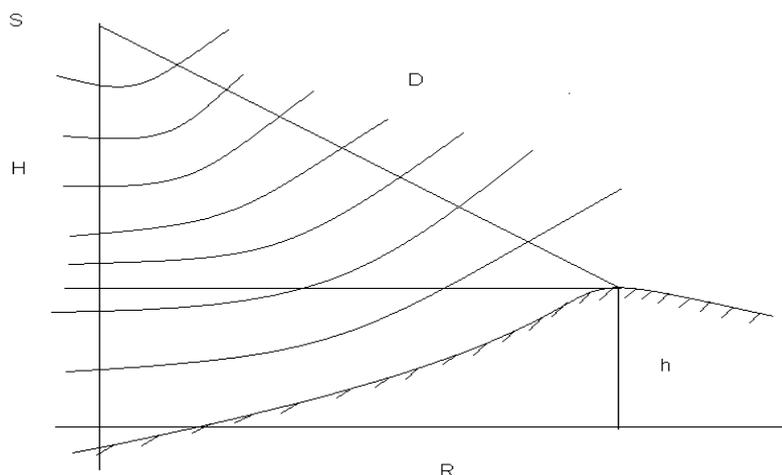
Радиовысотометры базируются на измерении расстояний с помощью радиоволн.

В данном случае высота полета  $H = \sqrt{D^2 - R^2} + h$ .

Расстояние  $D$  определяется методами:

- импульсным
- фазовым

Для измерения скорости самолета используют эффект Доплера. Принцип действия доплеровского измерения скорости базируется на базовом методе определения расстояния.



Пусть имеется носитель аэростатов в точке А, в точке В – приемник радиосигналов.

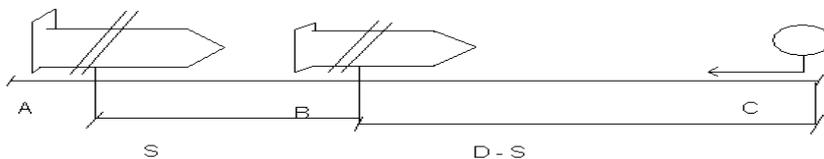


В точке А ведомая радиостанция, а в точке В ведущая. Они синхронно излучают одни и те же радиоволны, т.е. волны одинаковой частоты. Пусть точка А излучает волну с фазой  $\varphi_1 = 2\pi f t_1$ , где  $f$  – частота колебания,  $t$  – время излучения колебания. Условно считается что станция А неподвижна, а станция В неподвижна по определению. Пока радиосигнал с точки А достигнет станцию В, то на станции В будет сгенерировано колебание с фазой  $\varphi_2 = 2\pi f t_2$ .

Разность фаз  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi f(t_2 - t_1)$

$t_2 - t_1 = \frac{D}{c}$ , а следовательно  $\Delta\varphi = 2\pi f \frac{D}{c}$ .

Для определения скорости представим что носитель передвинулся из точки А в точку В.



Для определения скорости полагаем, что носитель прошел расстояние  $S = W * \Delta t$  со скоростью  $W$ .

Найдем разность фаз:

$$\Delta\varphi_2 = 2\pi f(t_2 - t_1)$$

$$\varphi_1 = 2\pi f t_1$$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi f(t_2 - \Delta t - t_1) = \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi f(t_2 - t_1 - \Delta t)$$

$\Delta t$  – выразим через скорость электромагнитных волн.

$$\Delta t = \frac{D - S}{c}$$

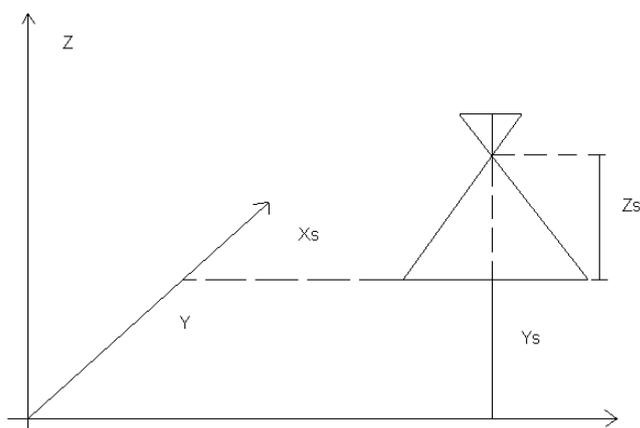
где  $c$  – скорость света.

$$\text{Тогда } \Delta\varphi = 2\pi f(t_2 - t_1 - \frac{D}{c} + \frac{S}{c})$$

В свою очередь  $t_2 - t_1 = -\frac{D}{c}$  следовательно  $\Delta\varphi = 2\pi f \frac{S}{c} = 2\pi f \frac{W\Delta t}{c}$ ;  $\Delta W = \frac{\Delta\varphi * c}{2\pi f \Delta t}$ . Выразим величину

$\frac{c}{f}$  через длину волны  $\lambda$

$$\Delta W = \frac{\Delta\varphi * \lambda}{2\pi f \Delta t}$$



Геростабилизирующая установка служит для приведения оптической оси фотокамеры в отвесное положение с точностью  $10''$ .

Геростабилизатор базируется на принципе волчка, только волчок движется в одной плоскости, а геостабилизатор в трех плоскостях, что обеспечивает устойчивое положение оси геростока и соответственно аэрофотоаппарата соединенного с ним. К настоящему времени при аэрофотосъемке широко применяется определение координат центра фотографирования.

Координаты определяются с помощью глобальной позиционной системой. Самые развитые глобальные системы GPS, NAVSTAR (США) или ГЛОНАСС (РФ).

Самые совершенные носители оборудованы еще и инерциальными системами. Инерциальная система в каждой точке носителя непрерывно измерить его ускорения. Если  $\sum_{i=1}^n a_i \Delta t_i$  где  $\Delta t$  – промежуток времени между измерениями.

$$\sum_{i=1}^n a_1 \Delta t_1 + a_2 \Delta t_2 + \dots = \Delta v_1 + \Delta v_2 + \dots = \sum_{i=1}^n \Delta v_1 \Delta t_1 + \dots = S_1 + S_1 + S_3 \dots$$

Сумма произведений измеренных ускорений равна сумме скоростей в каждый момент измерений (приращений скоростей) повторная сумма произведений приращений скоростей на временные промежутки, дает сумму элементарных отрезков что дает расстояние от 1 до 2.

Инерциальная система позволяет измерять ускорение носителя по осям X, Y, Z. В соответствии с описывающим принципом, тогда можно определить приращение координат носителя  $\Delta x_{in}$ ;  $\Delta y_{in}$ ;  $\Delta z_{in}$ .

В частном случае если представить  $a_x=a$ ,  $a_y=0$ ,  $a_z=0$  тогда  $\Delta x=sin$ ,  $\Delta y=0$ ,  $\Delta z=0$ .

Прибор измеряющий ускорение называется аксемирометр.

Некоторые носители фэрофотосъемочной аппаратуры:

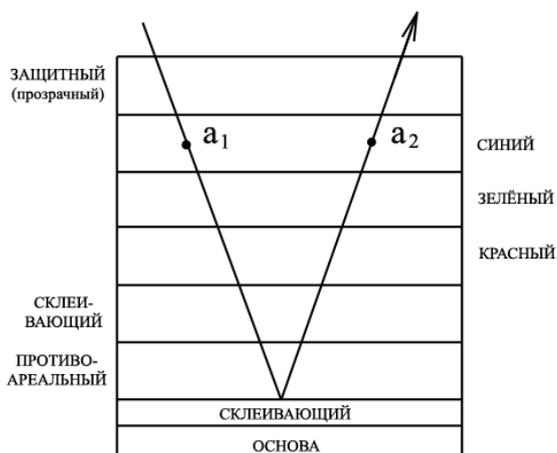
Показатели	Технические требования			
	АН30	АН2	ИЛ14	КА26 (вертолет)
Максимальная высота	6000	5000	6000	3000
Путевая скорость км/ч	440	180	300	140
Дальность	2000	1300	2000	-

#### Тема 4. Аэрофотоматериалы.

3. Аэрофотопленка, фотобумага и их характеристики.
4. Негативные и позитивные процессы.
5. Значение сенситометрических исследований для аэрофотосъемки.

1. Аэрофотопленка, фотобумага и их характеристики

Представим структуру аэрофотопленки в виде соответствующих слоев. Для общего случая будем считать, что пленка состоит из нескольких слоев. Например: светочувствительный к трем основным цветам: синему, зеленому и красному.



Характеристики фотопленки и фотобумаги:

- разрешающая способность, характеризуемая разрешающей способностью объектива и разрешающей способностью аэронегатива.

Тогда можно записать, если  $R_0$  – разрешающая способность объектива,  $R_n$  – разрешающая способность негатива.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_n}$$

$R$  - разрешающая способность изображения

Для цветных снимков разрешающая способность негатива определяется разрешающими способностями каждого слоя. Пусть каждый слой имеет разрешающая способность  $R_1, R_2, R_3$ .

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

В более детальных исследованиях определяют следующие характеристики фотопленки или фотобумаги:

1. Зернистость
2. Пограничная кривая

Зернистость - неоднородность, почернение равномерно-экспонированного и одинаково-проявленного участка изображения при его десятикратном увеличении или при увеличении, при котором видна зернистость. Она измеряется величиной

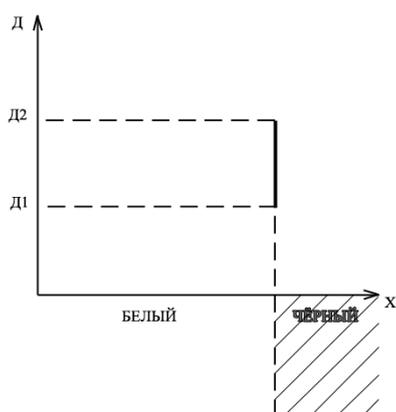
$$G = \frac{100}{n},$$

где  $n$  - увеличение, при котором видна зернистость.

Одной из мер зернистости является гранулированность. Если «зерна» одинаковы, то говорят, что гранулированность равна 0. Если зерна не одинаковы, то измеряют размер каждого зерна  $D_1, D_2, \dots, D_n$ , находят среднее арифметическое и вычисляют по формуле:

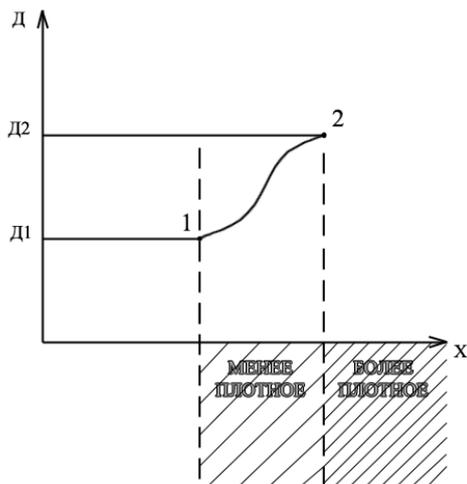
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_{cp})^2}{n - 1}}$$

Пограничная кривая характеризует резкость изображения или его четкость.



Пусть изображение состоит из двух цветов белого и черного. В идеальном случае при переходе от белого к черному изображению его плотность изменяется скачком с  $D_1$  на  $D_2$ .

Одной из характеристик пленок и бумаг является контрастность. Контрастность будет исследована нами при изучении сенситометрических процессов.



2. После фотографирования аэронегатив проходит следующий негативный процесс:

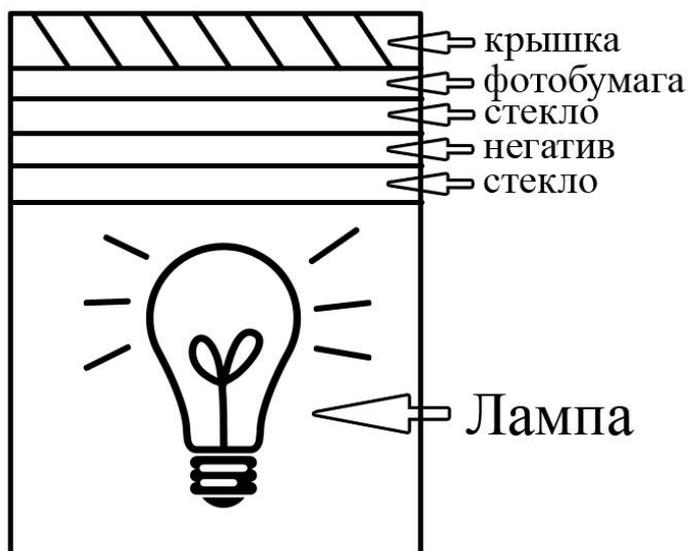
- проявление
- промывка
- фиксирование
- окончательная промывка
- сушка

В результате этого негатива мы получаем аэронегатив.

Позитивный процесс-это процесс получения снимка или негатива.

Для получения позитива осуществляется фотопечать. Фотопечать бывает контактная и неконтактная.

При контактной печати используется станок для контактной печати.



100 Вт лампочка освещает негатив проявляя на фотобумагу изображение с негатива. При закрытой крышке печатного стала.

Бесконтактная осуществляется проекторами. Проекторы увеличивают или уменьшают изображение, а при съемке желательно что бы позитив имел такой же масштаб что и негатив.

После контактной печати осуществляется позитивный процесс, то есть над фотобумагой выполняют следующие операции:

- 1 Проявление изображения
- 2 Промывка
- 3 Фиксация
- 4 Окончательная промывка
- 5 Сушка

В итоге получаем позитив.

3. Значение сенситометрических исследований фотоматериалов для аэрофотосъемки.

Сенситометрические исследования фотобумаги и фотопленки необходимо для того, чтобы рассчитывать такие величины как: выдержка, контрастность.

Для расчета выдержки исходят из зависимости экспозиций от освещенности:

$$H = Et$$

где

$H$  - экспликация

$E$  - освещенность

$t$  - время пропускания света через объектив и его попадания на негатив или фотоплёнку.

$$t = \frac{H}{E}$$

Величина экспозиции хорошо определяется по светочувствительности фотоматериала.

$$H = \frac{1}{S}$$

$H$  - светочувствительность

$$t = \frac{1}{SE}$$

В курсе фотограмметрия выведена формула определения освещенности:

$$E = \frac{1}{4} \pi V T n_0^2$$

$T$  - яркость

$V$  - коэффициент пропускания света:

$$V = \frac{\varphi_0}{\varphi}$$

Где

$\varphi_0$  - световой поток пропущенный через фотоматериал,  $\varphi$  - падающий световой поток.

$n_0$  - диафрагма

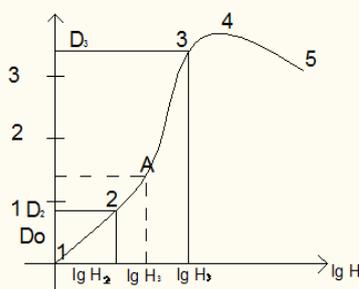
Выдержка:

$$t = \frac{4}{\pi S V T n_0}$$

В этой формуле необходимо задать величину  $S$  - светочувствительность.

Для определения светочувствительности выполняют сенсометрические исследования т.е. устанавливают зависимость оптической плотности фотоматериала от экспозиции, т.е. строится следующий график:

Экспликация-освещение объекта за единицу времени.



Опытным путем строится кривая 1-5. Кривая состоит из следующих участков:  
1-2 – некоторое увеличение плотности с увеличением экспозиции.

2-3 – прямолинейный участок.

3-5 – достижение максимальной плотности с уменьшением.

Светочувствительность определяется в следующем порядке:

- 1) Определяется плотность вуалей в точке  $D_0$ .  
Вуаль – потемнение фотопленки при ее проявлении в абсолютной темноте.
- 2) Вычисляется  $D = D^0 + 0.85$ .
- 3) Находится точка А на кривой.
- 4) Находится  $\lg Hs$ .
- 5) По антилогарифму находится  $Hs$ . Находим  $Hs$  из формулы:

$$S = \frac{1}{H}$$

- 6) Определяется выдержка:

$$t = \frac{4}{\pi S B T n_0}$$

Контрастность вычисляется из сенситометрической кривой.

$$\gamma = \frac{D_3 - D_2}{\lg H_3 - \lg H_2}$$

## ТЕМА 5 : Геометрические параметры аэрофотосъёмки

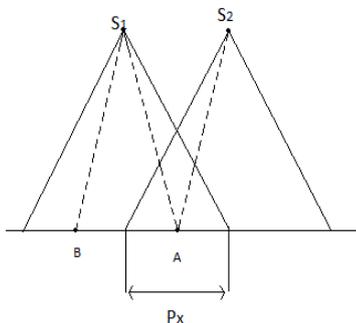
1. Продольные и поперечные перекрытия. Рабочая область негатива.
2. Оценка фотограмметрического и фотографического качества съёмки.
3. Составления проекта лётно-съёмочных работ.
4. Технические требования к топографической съёмке.

**1.** В результате съёмки должны определить координаты  $x, y, z$  местности, т.е. решить пространственную засечку.

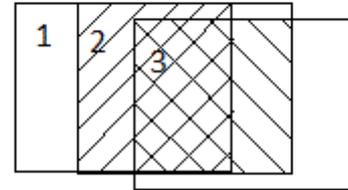
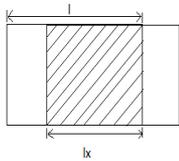
В нашем случае пространственная засечка определена пространственными лучами  $S_1A$  и  $S_2A$ .

Для точки В нельзя построить засечку, потому что она не отражается на снимке из точки  $S_2$ . Такое условие должно осуществляться на всём маршруте аэрофотосъёмки или блоке АФС.

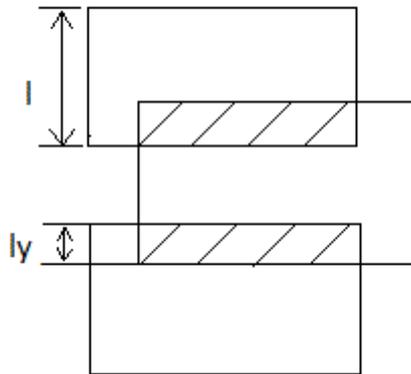
Для осуществления таких засечек по всему объекту, осуществляется продольное перекрытие. Обычно перекрытие выражается в процентах и должно составлять не меньше 60%.



$P_x = l / l_x * 100\%$  - продольное перекрытие  
 Наличие области тройного перекрытия, является обязательным условием решения пространственных засечек.

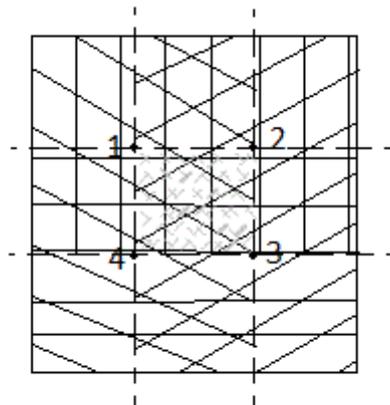


Снимки 1,2,3 с тройным перекрытием называются – триплет.  
 Поперечное перекрытие нужно для того чтобы отдельные маршруты соединить в блоки.



$P_y = l_y / l * 100\%$  - поперечное перекрытие

Рабочая зона аэронегатива определяется осями зон продольного и поперечного перекрытия.



2. Для оценки фотограмметрического качества АФС составляется накидной монтаж. Для составления накидного монтажа снимки располагают таким образом, чтобы по продольным и поперечным перекрытиям совпадали одноименные контура.

По накидному монтажу определяют параметры:

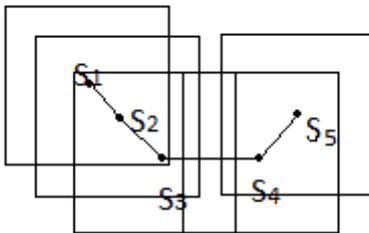
- обеспечение границ съёмочного участка
- прямолинейность маршрута
- отклонение перекрытий от заданной величины
- не параллельность продольной стороны снимка к продольному базису

Оси крайних маршрутов должны идти по границам участков.

Маршрут должен переходить поперечную граница на 1 базис.

Базис - это расстояние между смежными точками фотографирования.

Не прямолинейность маршрута определяется стрелой прогиба.



$K = \Delta / L * 100\%$  - не прямолинейность

L – длина маршрута

Непараллельность к базису:

