

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Специальность  
21.05.04. Горное дело

Направленность (специализация) программы  
Маркшейдерское дело

Уровень высшего образования - специалитет

Форма обучения  
Очная

Институт	Горного дела и транспорта
Кафедра	Геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых
Курс	4
Семестр	8

Магнитогорск  
2017 г.

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по специальности 21.05.04 Горное дело, утвержденного приказом Минобр РФ от 17.10.2016 г. № 1298.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых «20» января 2017 г., протокол № 7.

Зав. кафедрой  / И.А. Грипин /

Рабочая программа одобрена методической комиссией института горного дела и транспорта «31» января 2017 г., протокол № 7.

Председатель  / С.Е. Гавришев /

Рабочая программа составлена: ст. преподаватель кафедры Г.М.ДиОПИ

 С.О. Картунова

Рецензент:

директор ООО «Магнитогорская маркшейдерско – геодзическая компания»



 / Т.А. Шекунова /



## **1 Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Дистанционные методы зондирования земли» связаны с практической деятельностью человека в том или ином производстве. Дисциплина является одной из наиболее сложных наук, которая позволяет решать прикладные инженерные задачи. Основной целью курса является формирование у студентов знаний о процессе проведения стереофототопографической съемки при маркшейдерском обеспечении открытых горных разработок, а также при деформации инженерных сооружений. Изучение новых современных систем съемочных приборов и методы изучения съемок современными приборами.

## **2 Место дисциплины в структуре ООП подготовки специалистов**

Дисциплина «Дистанционные методы зондирования земли» входит в базовую часть блока Б1.Б.44 образовательной программы.

Задача дисциплины «Дистанционные методы зондирования земли» заключается в обучении студентов различным фотограмметрическим методам, а также топографическому и другим видам картографирования. Дисциплина Б1.Б.44 «Дистанционные методы зондирования земли» является дисциплиной, входящей в профессиональный цикл ООП по направлению подготовки специалистов 21.05.04 “Горное дело”, профиль №4

“Маркшейдерское дело”.

Согласно УП дисциплина читается в восьмом семестре на четвертом курсе, относится к обязательным дисциплинам, вариативная часть.

Успешное усвоение материала предполагает знание студентами основных положений следующих дисциплин:

- Б1.Б.43 Геодезия;
- Б1. В.01 Маркшейдерия
- Б1.Б.15 Инженерная и компьютерная графика;
- Б1.Б.13 Информатика;
- Б1.Б.09 Математика;
- Б1.Б.10 Физика;
- Б1.Б.14 Химия.

Обучающийся должен знать фундаментальные основы геодезии и маркшейдерии, выполнять математические расчеты и соблюдать правила составления маркшейдерских чертежей, в том числе с использованием компьютерных технологий.

Дисциплина «Дистанционные методы зондирования земли» должна дать теоретическую подготовку квалифицированного использования знаний при специальных съемках и правильной обработке результатов данной съемки.

Знание и умение студентов квалифицированного исполнения специальных съемок будут необходимы при подготовке выпускной квалифицированной работы.

## **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины и планируемые результаты обучения:**

В результате освоения дисциплины «Дистанционные методы зондирования земли» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ОПК-7 умением пользоваться компьютером как средством управления и обработки информационных массивов	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные определения и понятия ...; при использовании компьютера.</li> <li>- основные методы исследований, используемых в управлении компьютерными программами.</li> <li>- определения ... понятий, называет их структурные характеристики;</li> <li>- основные методы и правила обработки информационных массивов в компьютерных программных обеспечениях.</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Правильно использовать компьютерные технологии.</li> <li>- Правильно использовать знание программного обеспечения.</li> <li>- приобретать знания в использовании компьютерных технологий при обработке контактных снимков.</li> <li>- корректно выражать и аргументированно обосновывать положения предметной области знания.</li> </ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>- практическими навыками использования элементов программ на других дисциплинах, на занятиях в аудитории пользования компьютера.</li> <li>- методами и приемами программного обеспечения.</li> <li>- основными методами решения задач в области управления и обработки информации при технологиях дешифрирования и трансформирования в компьютерных программах.</li> </ul>
ПК-7 умением определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные определения пространственно-геометрическое положение объектов.</li> <li>- основные методы осуществления маркшейдерских измерений с помощью современных приборов используемых в ДМЗЗ</li> <li>- основные методы обработки и интерпретации результатов съемок с помощью компьютерных технологий</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>- правильно осуществления маркшейдерских измерений с помощью современных приборов используемых в ДМЗЗ.</li> <li>- правильно определять пространственно-геометрическое положение объектов.</li> <li>- правильно обрабатывать результаты съемок с помощью компьютерных технологий.</li> </ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>- приемами определения пространственно-геометрического положение объектов.</li> <li>- приемами маркшейдерских измерений с помощью современных приборов используемых в ДМЗЗ.</li> <li>- приемами и навыками обработки результатов съемок с помощью компьютерных технологий.</li> </ul>
ПК-8 готовностью принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления производством	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные методы автоматизирования, используемые в ДМЗЗ.</li> <li>- основные методы внедрения автоматизированных систем, используемых в ДМЗЗ.</li> <li>- основные методы систем управления производством используемых в ДМЗЗ.</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>- правильно использовать автоматизацию процессов.</li> </ul>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
	-правильно внедрять автоматизированные процессы, используемые в ДМЗЗ. -правильно использовать системы управления производством используемых в ДМЗЗ.
Владеть	-приемами автоматизации процессов. -приемами внедрения автоматизированными процессами, используемыми в ДМЗЗ. -приемами систем управления производством используемых в ДМЗЗ.
<b>ПСК-4.1</b> готовностью осуществлять производство маркшейдерско-геодезических работ, определять пространственно-временные характеристики состояния земной поверхности и недр, горно-технических систем, подземных и наземных сооружений и отображать информацию в соответствии с нормативными требованиями	
Знать	-все виды маркшейдерско-геодезических работ. -методы определения пространственно-временных характеристик состояния земной поверхности и недр. -методы определения и нахождения в пространстве подземных и наземных сооружений с помощью методов съемок используемых в ДМЗЗ.
Уметь	-правильно производить маркшейдерские работы при помощи современных электронных систем. -правильно производить необходимые съемки на поверхности и в недрах земли и оформлять планы и карты. -правильно и качественно делать расчеты и оформлять их в электронном виде и на бумажном носителе.
Владеть	-приемами всех маркшейдерских работ при помощи современных электронных систем. -приемами съемок на поверхности и в недрах земли с помощью стереофотограмметрии. -приемами и навыками ведения всех видов маркшейдерских работ и правильного отображения информации в соответствии с нормативными документами.

#### 4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 часов, в том числе:

- контактная работа – 54,2 часа
  - аудиторная – 51 час
  - внеаудиторная – 3.15 акад. часов
- самостоятельная работа – 18 часа
- подготовка к экзамену – 35.7 часов

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. занятия	практич.				
1.Тема Введение.	8	2				Проработка лекционной темы		ПК-7; ПСК-4-1
2.Тема Наземная фотограмметрия и технология ее производства на карьерах	8	2		8	4,2	Подготовка к вопросам по теме	Защита работы	ОПК-7; ПК-7; ПСК-4-1
3. Тема Аэрофотограмметрия	8	4		6	4	Подготовка к вопросам по теме	Защита работы	ОПК-7; ПСК-4-1
4. Тема Дешифрирование и трансформирование аэроснимков	8	3		10	2	Подготовка к вопросам по теме	Защита работы	ПК-7; ПСК-4-1
5. Тема Фотосхемы, фотопланы	8	2		4	1	Подготовка к вопросам по теме	Защита работы	ОПК-7; ПК-8
6. Тема Современные приборы и методы съемки данными приборами.	8	2			4	Проработка лекционной темы		ОПК-7; ПК-8; ПСК-4-1
7. Тема Решение горно-геометрических задач методами фотограмметрии	8	2		6	3	Подготовка к вопросам по теме	Защита работы	ОПК-7; ПК-8; ПСК-4-1
<b>Итого по дисциплине</b>	<b>8</b>	<b>17</b>		<b>34</b>	<b>18</b>		<b>Промежуточный контроль экзамен</b>	

14 часов, отведенные на работу в интерактивной форме.

## 5. Образовательные и информационные технологии

Важный залог успешного освоения учебного материала – практические занятия. Практикум не только направляет и упрощает процесс обучения, способствует самоподготовке студентов, но и оставляет в памяти полученные знания в виде различных вариантов и отработанных тем занятий. Кроме того, часть сведений, предусмотренных программой, может быть усвоена на практических и семинарских занятиях, что разгрузит теоретическую часть курса. Все это будет способствовать лучшему усвоению лекционного материала.

Самостоятельная работа студентов по подготовке курса строится в соответствии с их индивидуальными особенностями. Однако для более рациональной организации занятий следует придерживаться следующих рекомендаций.

1. Приступая к изучению курса «Фотограмметрия» необходимо правильно понять значение курса. Основы, полученные в процессе изучения курса необходимы студентам для лучшего понятия выбранной специальности, которые необходимы для подготовки современного горного инженера, специалиста широкого профиля, способного при постоянно усложняющихся горно-геологических условиях успешно решать проблемы горного производства. Дальнейший научно-технический прогресс в условиях горнодобывающей промышленности становится невозможным без всестороннего изучения и учета природных условий разработки месторождений полезных ископаемых.

Весьма большое количество фактического материала, предлагаемого студентам, как в лекциях, так и для самостоятельного изучения, предполагает интенсивные и систематические занятия. Перед началом изучения курса студентам рекомендуется ознакомиться с государственным стандартом и учебно-методическим комплексом дисциплин, включая рабочую программу, где кроме содержания дисциплины указываются литературные источники, средства обучения и разделы курса, выносимые для самостоятельного изучения.

2. Непосредственным источником изучения материала является учебник. Рабочая программа дает возможность представить общий характер курса и соотношение его частей. Учебная информация будет запоминаться легче и усваиваться более осмысленно, если предварительно ознакомиться с программой и усвоить структуру курса и значение каждого элемента. Если работать с материалом в том порядке, в каком он изложен в учебнике, по полезно сверять прочитанное с программой, отмечая в ней пройденные вопросы. Если находить в учебнике сведения в соответствии с последовательностью вопросов в программе, то несколько нарушается свойственная каждому учебнику внутренняя логика подачи информации. Поэтому после проработки каждого раздела программы необходимо проверять степень усвоения учебного материала, отвечая на контрольные вопросы, данные в конце каждой темы.

3. Механическое зазубривание только конспекта лекций дает в лучшем случае удовлетворительную оценку, а при наличии систематических пропусков лекций и лабораторных занятий отставание становится хроническим и приводит к недопущению к сессии.

Лекции нужно перечитывать сразу или через день после слушания. К практическим занятиям нужно выучить соответствующий раздел лекционного курса и соответствующий раздел учебника или пособия. Самостоятельная работа по изучению первоисточников, инструктивного материала, описательной части дисциплин согласно стандарту занимает примерно столько же времени, как и аудиторные занятия.

4. Студенты, которые ведут конспект прочитанного, заносят в него основные определения, ключевые цифровые данные, ответы на контрольные вопросы и т.п., более основательно постигают предмет, как правило, успешно сдают экзамен.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

Аудиторная практическая работа студентов осуществляется индивидуально и под контролем преподавателя в виде оформления практических в соответствии с требованиями и стандартами учебного заведения.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов осуществляется в виде чтения и проработки лекционного материала и справочной литературы, использования компьютерных технологий и сетей, а также работу в библиотеке с консультациями преподавателя.

Раздел/ тема дисциплины	Вид самостоятельной работы	Кол-во часов	Формы контроля
1.Тема наземная фотограмметрия и	Создание рабочей съемочной маркшейдерской сети с	4,2	Защита работы



Раздел/ тема дисциплины	Вид самостоятельной работы	Кол-во часов	Формы контроля
технология ее производства на карьерах;	помощью контактных снимков карьера		
2.Тема аэрофотограмметрия	Расчеты технического проекта аэрофотосъемки	4	Защита работы
3. Тема обработка аэрофотоснимков на аналоговых стереоприборах.		2	Защита работы
4. Тема оценка качества материалов аэрофотосъемки;	Вычисление проектного полигона и составление чертежа проектного полигона	1	Защита работы
5. Тема дешифрирование и трансформирование аэроснимков	Вычисление элементов круговой кривой в тоннелях метрополитена	4	Защита работы
6. Тема изготовление одномаршрутной фотосхемы;	Детальное рассмотрение деформационных процессов при строительстве тоннелей	3	Защита работы
<b>Итого по дисциплине</b>		18,2	<b>Промежуточный контроль экзамен</b>

### **Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

#### **Домашние задания**

##### Домашнее задание №1

Изучить следующие вопросы: что такое наука «Фотограмметрия», ее содержание и задачи, связь ее с другими научными дисциплинами.

##### Домашнее задание №2

Изучить виды наземной и воздушной съемок, технические средства для выполнения съемок, методы полевых работ, классификация аэросъемочных сетей.

##### Домашнее задание №3

Сделать выбор параметров аэрофотосъемки для фотограмметрической обработки снимков. Изучить пространственную аналитическую фототриангуляцию, классификация дешифрирования

##### Домашнее задание №4

Изучить технологию цифровой стереофотограмметрии.

Ответить на поставленные преподавателем вопросы по результатам домашних заданий.

### **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

В образовательной программе специалитета по дисциплине Дистанционные методы зондирования земли включены следующие компетенции: ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-8, ПСК-4.1. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**знать** возможности, сферы применения и особенности методик фотограмметрических методов; спутниковые технологии позиционирования и дистанционного зондирования; технологии и приемы проведения съемок, и их камеральную обработку;

**уметь** использовать полученный материал (снимки) для составления карт, для решения прикладных задач;

**владеть** навыками работы с программным обеспечением.

– на оценку **«отлично»** – обучающийся показывает высокий уровень сформированности компетенций - ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-8, ПСК-4.1;

– на оценку **«хорошо»** – обучающийся показывает средний уровень сформированности компетенций - ПК-4, ПК-7, ПК-8, ПСК-4.1;

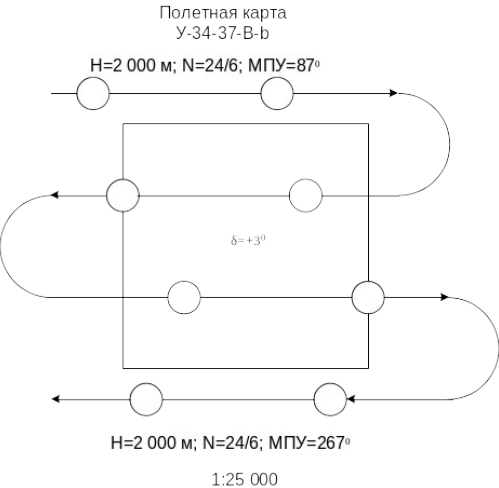
– на оценку **«удовлетворительно»** – обучающийся показывает пороговый уровень сформированности компетенций - ОПК-7, ПК-4;

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ОПК-7 умением пользоваться компьютером как средством управления и обработки информационных массивов		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные определения и понятия при использовании компьютера.</li> <li>- основные методы исследований, используемых в управлении компьютерными программами.</li> <li>- определения понятий, называет их структурные характеристики; основные методы и правила обработки информационных массивов в компьютерных программных обеспечениях.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Теоретические знания компьютерных программ применяемых для создания топографических планов и карт. Талка, Photomod, Z-Spase 29</p>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Правильно использовать компьютерные технологии.</li> <li>- Правильно использовать знание программного обеспечения.</li> <li>- приобретать знания в использовании компьютерных технологий при обработке контактных снимков.</li> <li>- корректно выражать и аргументированно обосновывать положения предметной области знания.</li> </ul>	<p>Практические работы рассчитать с помощью программного обеспечения. Работа 5</p> <p>Вычисление погрешности определения площади сечения выработки и погрешности определения объема выработки.</p> <p>Цель работы: ознакомление студентов с вычислениями погрешности при определении сечения выработки и при определении объема выработки при фотоконтурной съемке подземной выработки.</p>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>- практическими навыками использования элементов программ на других дисциплинах, на занятиях в аудитории пользования компьютера.</li> <li>- методами и приемами программного обеспечения.</li> </ul>	<p>Создать в программе полетную карту.</p> <p>Произвести расчет по определению средней квадратической ошибки определения площади и объема выработки при фотоконтурном методе съемки подземных горных выработок.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	основными методами решения задач в области управления и обработки информации при технологиях дешифрирования и трансформирования в компьютерных программах.	
ПК-7 умением определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>-основные определения пространственно-геометрическое положение объектов.</li> <li>-основные методы осуществления маркшейдерских измерений с помощью современных приборов используемых в ДМЗЗ</li> <li>-основные методы обработки и интерпретации результатов съемок с помощью компьютерных технологий</li> </ul>	<p>Теоретические знания по осуществлению маркшейдерских измерений с помощью приборов: фототеодолит, сканер, лазерный сканер и другие НСС. Ответы на вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классификация аэросъемочных сетей.</li> <li>2. Основные критерии информационных возможностей съемочных сетей.</li> <li>3. Фотографические съемочные системы</li> <li>4. Нефотографические съемочные системы</li> </ol>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>-правильно осуществления маркшейдерских измерений с помощью современных приборов используемых в ДМЗЗ.</li> <li>-правильно определять пространственно-геометрическое положение объектов.</li> <li>-правильно обрабатывать результаты съемок с помощью компьютерных технологий.</li> </ul>	<p>Практическая работа по данным фотоконтурной съемки. Работа 6.</p> <p>Вычисление погрешности определения фотограмметрических координат точек контура сечения выработки.</p> <p>Цель работы: ознакомление студентов с вычислениями погрешности при определении координат точек объекта фотоконтурным методом.</p>
Владеть	-приемами определения пространственно-геометрического положение объектов.	По данным проектного задания построить базис фотографирования.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	-приемами маркшейдерских измерений с помощью современных приборов используемых в ДМЗЗ. -приемами и навыками обработки результатов съемок с помощью компьютерных технологий.	
ПК-8 готовностью принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления производством		
Знать	-основные методы автоматизирования, используемые в ДМЗЗ. -основные методы внедрения автоматизированных систем, используемых в ДМЗЗ. -основные методы систем управления производством используемых в ДМЗЗ.	Теоретические знания по методам дешифрирования контактных снимков. Ответы на вопросы: 1. Классификация дешифрирования 2. Визуальный метод дешифрирования 3. Машинно-визуальный метод дешифрирования 4. Автоматизированный метод дешифрирования 5. Подготовительные работы при дешифрировании. 6. Технология дешифрирования и контроль результатов 7. Аналитическое трансформирование снимков. 8. Стереоскопическая съемка, стереоскопический эффект.
Уметь	-правильно использовать автоматизацию процессов. -правильно внедрять автоматизированные процессы, используемые в ДМЗЗ. -правильно использовать системы управления производством используемых в ДМЗЗ.	С помощью дешифрирования и трансформирования контактных снимков создать сеть фототриангуляции.  Работа 4 Графический способ построения плановой фототриангуляции

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		
Владеть	<p>-приемами автоматизации процессов.</p> <p>-приемами внедрения автоматизированными процессами, используемыми в ДМЗЗ.</p> <p>-приемами систем управления производством используемых в ДМЗЗ.</p>	С помощью профессиональных навыков используемых в ДМЗЗ создавать планы текущих горных работ.
<p>ПСК-4.1 готовностью осуществлять производство маркшейдерско-геодезических работ, определять пространственно-временные характеристики состояния земной поверхности и недр, горно-технических систем, подземных и наземных сооружений и отображать информацию в соответствии с нормативными требованиями</p>		
Знать	<p>-все виды маркшейдерско-геодезических работ.</p> <p>-методы определения пространственно-временных характеристик состояния земной поверхности и недр.</p> <p>-методы определения и нахождения в пространстве подземных и наземных сооружений с помощью методов съемок используемых в ДМЗЗ.</p>	<p>Теоретические знания по определению в пространстве и во времени с помощью наземных, воздушных и космических съемок. Ответы на вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виды наземной и воздушной съемок.</li> <li>2. Технические средства для выполнения съемок</li> <li>3. Технические показатели аэрофотосъемки</li> <li>4. Выбор параметров аэрофотосъемки для фотограмметрической обработки снимков.</li> <li>5. Пространственная аналитическая фототриангуляция.</li> </ol> <p>Классификация аэросъемочных сетей.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Основные критерии информационных возможностей съемочных сетей.</li> </ol>
Уметь	-правильно производить	Практические занятия по составлению технического задания на воздушную съемку.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<p>маркшейдерские работы при помощи современных электронных систем.</p> <p>-правильно производить необходимые съемки на поверхности и в недрах земли и оформлять планы и карты.</p> <p>-правильно и качественно делать расчеты и оформлять их в электронном виде и на бумажном носителе.</p>	<p style="text-align: center;">Работа 1</p> <p style="text-align: center;">Расчет плановой аэрофотосъемки</p> <p>Целью выполнения работы является ознакомление студентов с методикой подготовки данных, необходимых для выполнения аэрофотосъемки местности.</p> <p style="text-align: center;">Создание полетной карты</p> 
Владеть	<p>-приемами всех маркшейдерских работ при помощи современных электронных систем.</p> <p>-приемами съемок на поверхности и в недрах земли с помощью стереофотограмметрии.</p> <p>-приемами и навыками ведения всех видов маркшейдерских работ и правильного отображения информации в соответствии с нормативными документами.</p>	<p>По данным съемок наземных и воздушных создать топографическую карту снимаемой местности.</p>

## 8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### Основная литература

1. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/97679>. — Загл. с экрана.
2. Измestьев, А.Г. Фотограмметрия и дистанционные методы зондирования земли [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Измestьев. — Электрон. дан. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2017. — 119 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105396>. — Загл. с экрана.
3. Браверман, Б.А. Программное обеспечение геодезии, фотограмметрии, кадастра, инженерных изысканий [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.А. Браверман. — Электрон. дан. — Вологда : "Инфра-Инженерия", 2018. — 244 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/108673>. — Загл. с экрана.

### Дополнительная литература

1. Геодезия [Электронный ресурс]: Учебник / В.Н. Попов, С.И. Чекалин. - М.: Горная книга, 2007. - 722с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=3294](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3294). – Заглавие с экрана ISBN: 5-91003-028-6
2. Дьяков, Б.Н., Основы геодезии и топографии/ Б.Н. Дьяков, В.Ф. Ковязин. – СПб.: Изд-во «Лань», 2011. – 272 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=1806](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=1806). - Заглавие с экрана ISBN: 978-5-8114-1193-1
3. Картунова С.О. Дистанционные методы зондирования Земли: учеб. пособие / С.О. Картунова, Е.А. Романько, О.С Колесатова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 127с. Приложение 2

### Периодические издания:

- Маркшейдерия и недропользование.
- Геодезия и картография.
- Горный информационно-аналитический бюллетень

### Методические указания

1. Картунова С.О. Рабочая тетрадь по дисциплинам «Дистанционные методы зондирования земли» для студентов специальностей 130400, Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ» 2014. 30 с. Приложение 1
2. Рубцов Н.В. Работа с теодолитом. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Инженерная геодезия» для студентов специальностей 050103, 270102, 270105, 270106, 270112, 270205, 130402 и направлений 2070100. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – 23 с. Ауд. 075
3. Хонякин В.Н. Графические работы. Методические указания по составлению совмещенного плана теодолитно-тахеометрической съемки по дисциплинам «Геодезия», «Геодезия и маркшейдерия», «Инженерная геодезия» и «Картография с основами топографии» для студентов специальностей 050103, 270102, 270105, 270106, 270109, 270301, 130402 дневной формы обучения. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010 – 32с. Ауд. 075



4. Хонякин В.Н. Чтение содержания топографических карт. Методические указания к практическим занятиям по дисциплинам "Инженерная геодезия", "Картография с основами топографии", "Основы аэрогеодезии и инженерно-геодезические работы". – Магнитогорск, 2006.- 22с. Ауд. 075
5. Хонякин В.Н. Решение задач по топографическим планам и картам. Методические указания к практическим занятиям по дисциплинам "Инженерная геодезия", "Картография с основами топографии", "Основы аэрогеодезии и инженерно-геодезические работы". – Магнитогорск, 2007.-34с. Ауд. 075

#### Интернет-ресурсы

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Windows 7	Д-1227 от 08.10.2018 Д-757-17 от 27.06.2017 Д-593 от 20.05.2016	11.10.2021 27.07.2018 20.05.2017
MS Office 2007	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный	Д-300-18 от 31.03.2018 Д-1347-17 от 20.12.2017 Д-1481-16 от 25.11.2016 Д-2026-15 от 11.12.2015	28.01.2020 21.03.2018 25.12.2017 11.12.2016
7Zip	свободно распространяемое	бессрочно

#### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
Лекционная аудитория	В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются - лекционная аудитория, мультимедийные средства хранения, передачи и представления учебной информации, а также имеющиеся на кафедре средства обучения.
Практические занятия	Рабочие тетради для проведения практических работ; Плакатный материал Комплект государственных стандартов, касающихся дисциплины ДМЗЗ; Изучение инструментов фототеодолит, аэрофотоаппарат, командный прибор. Для проведения практических занятий необходимы персональные компьютеры с программным обеспечением пакетов таких как, Талка, Photomod, Z-Spase 29 и др.

**Федеральное агентство по образованию**  
**ГОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический**  
**университет им. Г.И. Носова"**

**Кафедра маркшейдерского дела и геологии**

20\_\_\_\_ - 20\_\_\_\_ уч. г.

**РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**

по дисциплине «Дистанционные методы зондирования Земли»  
для студентов очной и заочной форм обучения специальности

130400.65 – Горное дело

Специализации №4 – Маркшейдерское дело

Рабочее место №\_\_\_\_\_

Студент группы\_\_\_\_\_

---

(Фамилия, имя, отчество)

Практические работы зачтены\_\_\_\_\_

(подпись преподавателя)

Дата\_\_\_\_\_20\_\_\_\_г.

Магнитогорск

2014 г.

Рабочая тетрадь по дисциплине «Дистанционные методы зондирования Земли» для студентов очной и заочной форм обучения по специальности 130400.65 – Горное дело, специализации №4 – Маркшейдерское дело.

Магнитогорск, изд. МГТУ им. Г.И. Носова, 2014, 30с.

Составитель ст. преподаватель С.О. Картунова

Рецензент доц., к.т.н. Е.А. Романько

Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г.И. Носова, 2014

## ЛИТЕРАТУРА

для подготовки к практическим работам

Название источника	Номера практических работ/главы					
	1	2	3	4	5	6
2.Инженерная геодезия: Учебник для вузов/Багратуни Г.В., Ганьшин В.Н., Данилевич Б.Б. и др. М., Недра, 1984. 344 с.	86	91	88	90	-	-
2.Картунова С.О., Романько Е.А., Колесатова О.С. Конспект лекций по дистанционному методу зондирования Земли: Учебное пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. 55 с.	3	4	5	6	8	8

## Введение

Дистанционные методы зондирования земли – техническая наука о методах определения формы, размеров и положения объектов по их фотографическому изображению. Характеристики объекта могут изучаться по его изображению на одиночном снимке или по паре перекрывающихся снимков, полученных из различных точек пространства. Если при изучении объекта используются свойства одиночного снимка, то такой метод получения необходимой информации называют фотограмметрическим. Если же он изучается по паре перекрывающихся снимков, то метод называют стереофотограмметрическим. Основная задача дисциплины – топографическое и специальные виды картографирования. Фотограмметрические методы позволяют экономно и достаточно точно решать прикладные инженерные задачи. Все работы выполняют по негативам или фотоснимкам, полученным как фотографическими съёмочными системами, так и нефотографическими съёмочными системами. Все работы предназначены для ознакомления студентов с практической стороной некоторых аспектов науки дистанционные методы зондирования земли.

## Практическая работа №1

### Расчет плановой аэрофотосъемки

Целью выполнения работы является ознакомление студентов с методикой подготовки данных, необходимых для выполнения аэрофотосъемки местности.

#### Порядок выполнения работы:

Полетная карта выполняется на кальке, куда с карты черным цветом переносятся границы картографируемого участка, номенклатура, масштаб. Маршруты наносятся (в начале карандашом) параллельно границам участка в направлении север - юг или запад – восток. Для этого вначале целесообразно вычислить расстояние по формуле:  $l = D \times (N - 1)$  (в масштабе полетной карты) между крайними маршрутами в км, и нанести их симметрично относительно границ участка. А затем промежуток между крайними маршрутами разбить на  $(N - 1)$  частей и нанести все остальные маршруты. На каждом маршруте необходимо обозначить как минимум по два ориентира (они необходимы для штурмана – аэрофотосъемщика) и обозначаются на карте кружками ( $D = 5 \text{ мм}$ ). Для этого калька накладывается на карту и закрепляется грузиками, после чего на каждом из маршрутов выбирают ориентиры (характерные объекты местности). И, наконец, на карте указывается высота фотографирования  $H$ , число кадров общее  $\Sigma$  и в маршруте  $n$ , магнитный путевой угол МПУ, а также склонение магнитной стрелки (на год составления полетной карты) и сближения меридианов. Маршруты, ориентиры и вся числовая информация оформляется на кальке красным цветом. Все рассчитываемые параметры заносятся в таблицу 1.1 в графу результат. Исходные данные находятся в таблице 1.2.

#### Расчетные параметры

Таблица 1.1

№ п/п	Рассчитываемые параметры	Формулы	Результат
1	Высота фотографирования, м	$H = f * m$	
2	Продольное перекрытие Р аэрофотоснимков, %	В соответствии с таб. №3 Инструкция (1)	Заданное – Мин. – 56 Макс. -66
3	Поперечное перекрытие Q между аэрофотоснимками смежных маршрутов, %	В соответствии с таб. №4	Расчетное –

		Инструкция (1) $Q = 35 + 65 * \frac{h_{max}}{H}$	Мин. 20 Макс. 56,2
4	Расстояние между маршрутами на местности, км	$D = \frac{100-Q}{100} * l * m$	
5	Количество маршрутов на участке съемки	$N = \frac{C}{D} + 1$	
6	Базис фотографирования, км	$B = \frac{100-P}{100} * l * m$	
7	Количество снимков в маршруте	$n = \frac{A}{B} + 2$	
8	Общее количество снимков	$\Sigma = N * n$	
9	Общая протяженность всех маршрутов, км	$L = A * N$	
10	Продолжительность съемки участка, ч	$T = \frac{L}{V}$	
11	Число полетов	$K = \frac{T}{T_c}$	
12	Интервал между экспозициями, с	$T = \frac{B}{V}$	
13	Предельно допустимая выдержка при фотографировании, с	$\tau = \frac{\delta * m}{v}$	

Таблица 1.2

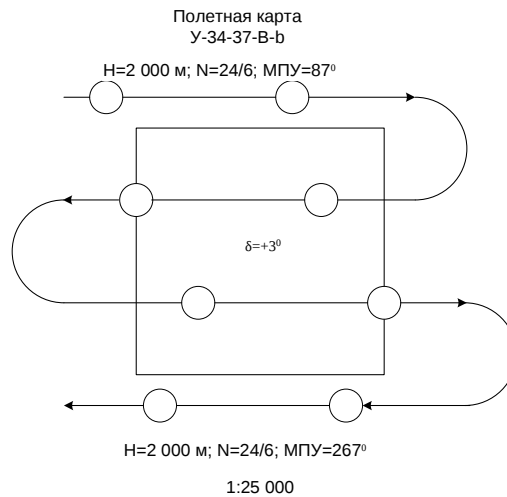
Исходные данные для планирования аэрофотосъемки по вариантам.

№ варианта	Исходные данные*									
	Магнит	Масштаб съемки М. км	Допустимый	Фокус. расстояние	Размер	Масштаб фотогра ф. п. см	Скорость	Время полета	МАХ	
1	+ 2 <sup>0</sup>	1:25000	0.05	200	14	1:15000	180	5	80	
2	+ 5 <sup>0</sup>	1:20000	0.05	150	16	1:10000	200	6	100	
3	+ 1 <sup>0</sup>	1:50000	0.05	100	18	1:25000	180	7	120	
4	- 2 <sup>0</sup>	1:25000	0.05	200	14	1:10000	180	8	100	
5	- 3 <sup>0</sup>	1:20000	0.05	180	16	1:15000	200	5	110	
6	+ 3 <sup>0</sup>	1:50000	0.05	120	18	1:20000	220	6	140	
7	- 5 <sup>0</sup>	1:25000	0.05	150	14	1:10000	180	7	110	
8	- 1 <sup>0</sup>	1:20000	0.05	180	16	1:20000	200	8	130	
9	+ 2 <sup>0</sup>	1:50000	0.05	110	18	1:25000	220	5	150	
10	+ 3 <sup>0</sup>	1:25000	0.05	160	14	1:10000	180	6	100	
11	- 3 <sup>0</sup>	1:20000	0.05	130	16	1:15000	200	7	110	
12	+ 5 <sup>0</sup>	1:50000	0.05	100	18	1:20000	220	8	140	
13	- 4 <sup>0</sup>	1:25000	0.05	210	14	1:10000	180	5	100	
14	+ 2 <sup>0</sup>	1:20000	0.05	190	16	1:10000	200	6	110	
15	+ 1 <sup>0</sup>	1:50000	0.05	100	18	1:25000	220	7	130	
16	-1 <sup>0</sup>	1:25000	0.05	120	16	1:20000	200	6	120	

\* - Границы картографируемого участка А = С = 5км для всех вариантов

**Оформление полетной карты**





### Выводы:

В процессе выполнения практической работы студентом приобретаются навыки по созданию расчета параметров аэрофотосъемочного залета и по выполнению полевой подготовки полетной карты, для создания топографической карты заданного масштаба.

Изучены основные положения и требования, предъявляемые к аэрофотосъемке, которые зависят от масштаба, технологии создаваемой карты и конкретного района картографирования.

---



---



---



---

Выполнил студент \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. (Группа) \_\_\_\_\_ (Фамилия, И., О.)

### Практическая работа № 2

#### Изготовление одномаршрутной фотосхемы

**Цель работы:** научить студентов изготовлению одномаршрутных фотосхем.

Исходные данные:

1. четыре контактных фотоснимка одного маршрута;
2. фокусное расстояние фотоаппарата  $f = 100 \text{ мм}$ .
3. Расстояния между рабочими центрами должны располагаться на расстоянии не более  $0,05f$  от главной точки снимков.

### Порядок выполнения работы:

1. Разложить по порядку снимки. При монтаже фотосхемы используют описание способа изготовления фотосхем.
2. Обрезать первый и второй слева снимки индивидуально по линейке, используя две соответствующие точки в середине перекрытия снимков.
3. Определить на третьем и четвертом снимках положение главных точек, засекая их с помощью линий, проходящих через противоположные характерные метки.
4. Обрезать второй и третий снимки совместно, контролируя точность их совмещения на середине перекрытия.
5. Выбирают и накладывают на третьем и четвертом снимках рабочие центры. Опознают и накалывают их на перекрытия этих снимков. Пробивают пуансоном все наколотые точки.
6. Совместить, используя полученные отверстия, снимки и совместно разрезать.
7. Наклеить на лист плотной бумаги или картона вырезанные рабочие площади снимков.
8. Оценить качество монтажа фотосхемы с помощью обрезков и оформить ее.

### Выводы:

Для защиты по выполнению работы необходимо оценить качество монтажа фотосхемы с помощью обрезков и измерить смещения, полученные на корректурном листе в мм и отобразить полученные значения на данном корректурном листе.

---

---

Вычислил студент \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. (Группа) (Фамилия, И., О.)

### Практическая работа № 3

### Оценка качества залета

**Цель работы:** ознакомление студента с требованиями, предъявляемыми к качеству материалов, полученных в процессе аэрофотосъемки местности и технологией оценки. В процессе работы студент должен составить накидной монтаж, выполнить измерение продольных параллаксов, «елочки» и определить прямолинейность маршрута.

### Исходные данные:

В процессе работы студент должен составить накидной монтаж, выполнить измерение продольных параллаксов, «елочки» и определить прямолинейность маршрута. сделать выводы о качестве залета. Необходимые допуски принимают, исходя из результатов расчета плановой аэрофотосъемки -  $K < 1\%$ ,

При  $f = 100 \text{ мм}$  принимаем  $\varepsilon = 5^\circ$  (инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. (11 раздел);

$P_{min} = 56$ ,  $P_{max} = 66$  (инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. (раздел 11)

1. Контактные отпечатки с исходных аэронегативов (1 маршрут из 7 снимков).
2. Доска и кнопки (для составления накидного монтажа).
3. Линейка
4. Транспорт
5. Измерители

На производстве оценку начинают с просмотра контактных отпечатков, обращают внимание на дефекты (точка, пятно, полоса), механические повреждения эмульсии. Затем оценивают фотографическое качество изображений – проработку света и теней участков изображения, отсутствие излишней контрастности и вуали, частичную или общую нерезкость изображения. Результаты записывают в таблицу № 1

Таблица №1

Дефекты	Механическое повреждение	Оценка фотографического качества

Важную роль при оценке качества играет накидной монтаж.

Составляют его из контактных отпечатков на чертежной доске, и начинают его монтировать с левого снимка маршрута. Это позволяет видеть номер каждого снимка.

### Порядок выполнения работ:

1. Раскладывают снимки по маршруту, используя номера фотоснимков. Определяют направление маршрутов. Прикрепив первый снимок, накладывают второй, так, чтобы совместились контура в зоне продольного перекрытия. В силу различных причин добиться точного совмещения не удастся, поэтому возникающие погрешности равномерно распределяют к противоположным краям снимка.

2. По накидному монтажу определяют – продольное перекрытие. Продольное  $P$  перекрытие измеряют специальной линейкой, проградуированной в процентах. Ее можно сделать самому – прямоугольник из плотной бумаги, длиной 18 см следует разбить на 10 равных частей и каждый интервал подписать от 0 до 9. Результаты измерений записывают в таблицу №2

3. Прямолинейность ( $K$ ) определяют для маршрута, у которого отклонение снимков от его оси максимально. Оценивается прямолинейность отношением стрелки прогиба  $l$  к длине маршрута  $L$ , выраженным в %. Способ измерения указан на рисунке 1.

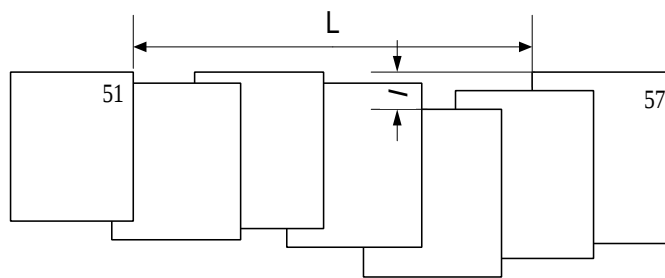


Рис. 1

$$K = \frac{1}{L} \times 100\%$$

Непараллельность базиса стороне фотоснимка выражается углом  $\epsilon$ . Угол  $\epsilon$  измеряют между линией  $xx$ ,

соединяющей координатные метки снимка, и осью маршрута. Рисунок 2.

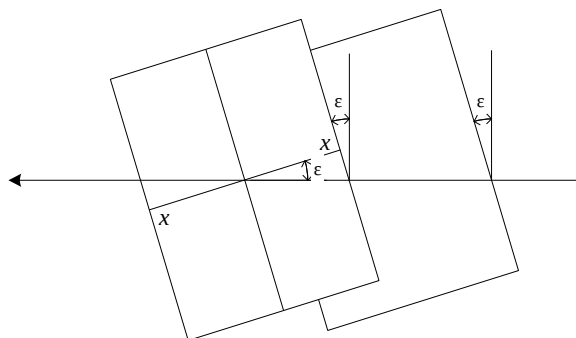


Рис. 2

Угол измеряется транспортиром.

Оценка качества залета

Схема маршрутов \_\_\_\_\_

Таблица №2

№ маршрута	№ снимка	$P$ (продольное перекрытие), %


Расчет прямолинейности и неправильности базиса

Прямолинейность  $K$  - \_\_\_\_\_

Неправильность базиса угол ( $\epsilon$ ) – \_\_\_\_\_

**Выводы:** Оценить качество результатов аэрофотосъемки по результатам проделанной практической работы

---



---



---

Вычислил студент \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. (Группа) (Фамилия, И., О.)

### Практическая работа № 4

#### Графический способ построения плановой фототриангуляции

**Цель работы:** ознакомление с методикой графической фототриангуляции.

#### Исходные данные:

1. Пять смежных фотоснимков №№
2. Пять калек размером  $15 \times 30$  см
3. Лист кальки размером  $30 \times 75$  см
4. Линейка
5. Циркуль – измеритель
6. Чертежные принадлежности

7.  $f = 100 \text{ мм}$ ,  $m_{сн} = 1/10000$ ,  $m_c = 1/1000$

**Задание:**

1. На фотоснимках выбрать трансформационные, рабочие, связующие и опорные точки.
2. Определить плановое положение трансформационных точек.
3. Рассчитать коэффициент редуцирования

**Порядок выполнения работы:**

Построение плановой фототриангуляции, графическим способом, производится в такой последовательности.

1. Выбирают и накальвают рабочие центры на каждом из снимков. Для этого соединяют координатные метки X и Y снимка прямыми линиями. Точка пересечения этих прямых будет главной точкой снимка. Если главная точка не совпадает, с каким либо четким контуром (любая характерная точка снимка), то из данной точки проводят окружность радиусом

$\frac{f}{50}$  (где  $f$  - фокусное расстояние фотокамеры, мм), в пределах этой окружности накальвают четкий контур, который определяют и накальвают на других снимках. Наколотые центры отмечают квадратом. (рис. 1)

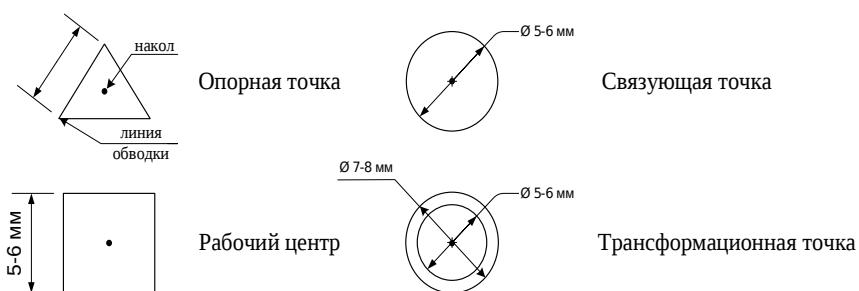


Рисунок 1

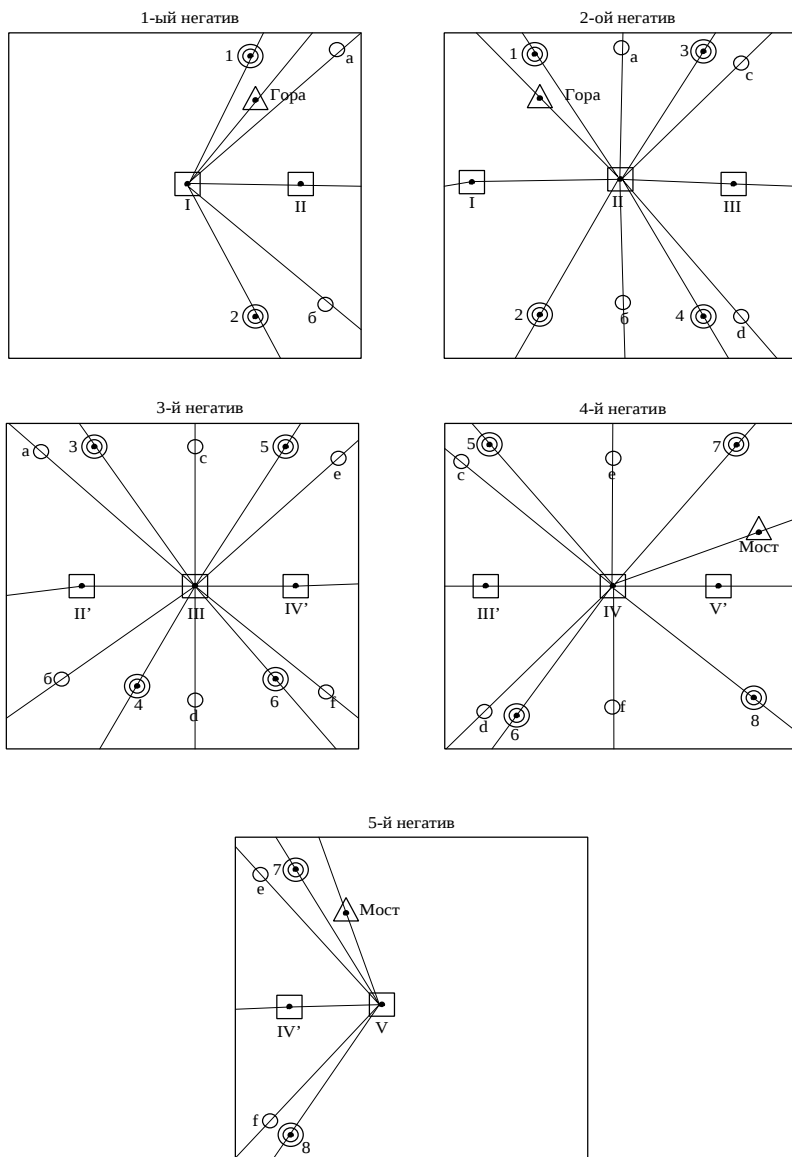
1. Выбирают и накальвают трансформационные, связующие и опорные точки. Трансформационные точки (в качестве подобных точек необходимо взять точки изображенных на снимках объектов, имеющих четкие контуры). Их выбирают в зоне перекрытия двух смежных снимков, в пределах их рабочих зон. Наколотые точки обводят двумя окружностями (рис. 1). Толщина линии обводки должна быть в пределах 0,2-0,3мм. Трансформационные точки по возможности размещают в углах рабочей площадки снимка.

После этого выбирают и накальвают связующие точки. Связующие точки выбирают в зоне тройного перекрытия трех смежных снимков по краям этой зоны. В качестве этих точек используют также объекты с четкими контурами. Данные точки опознают и накальвают на каждом снимке. Наколотые точки обводят одной окружностью (рис. 2). На первом, втором и последних снимках маршрутной съемки находят и накальвают по одной опорной точке (характерная точка на местности – гора, мост, столб и т.д.). Опознанные точки накальвают и обозначают треугольником рис.1.

## 2. Изготавливают кальки направлений.

На снимки накладывают кальки, перекальвают на них рабочие центры, связующие, трансформированные и опорные точки. На рис. 2 показаны положения указанных выше точек на пяти кальках направлений, полученных для каждого снимка маршрутной фототриангуляции. Затем из рабочего центра каждого снимка проводят направления на все переколотые точки (рис.2). Толщина линий направлений должна быть не более 0,2мм. Линии проводят непосредственно через наколы до края кальки.

12



## Рисунок 2

3. Строят одномаршрутную цепь фототриангуляции.

Построение цепи целесообразно производить на светостоле. Перед построением находят базис сети  $b$ , т.е. расстояние между рабочими центрами I и II соответственно первой и второй колеи направлений. Величина базиса рассчитывается по формуле

$$b = \frac{m_{CH} * b_{CH}}{m_C}$$

где  $b$  – длина базиса сети, мм;

$m_{CH}$  – масштаб снимка;

$m_C$  – требуемый масштаб сети;

$b_{CH}$  – длина базиса фотографирования, мм; (определяется по фотографическому снимку)

Находят коэффициент редуцирования сети ( $k_p$ ) по формуле

$$k_p = \frac{m_{CH}}{m_C}$$

где:  $m_{CH}$  – масштаб снимка,

$m_C$  – требуемый масштаб редуцирования.

Находят ожидаемую среднюю квадратическую погрешность (с.к.п.) положения трансформированных точек по формуле Г.П. Жукова

$$m = 0.35 * k_p * b_{CH} * \mu / \rho * \sqrt{n^3}$$

где:  $k_p$  – коэффициент редуцирования

$b_{CH}$  – величина базиса фотографирования на аэроснимке, мм

$\mu$  – погрешность графического проведения направлений,  $\mu$

$n$  – число базисов в цепи

2.  $\rho = 206265''$  Строят одномаршрутную цепь фототриангуляции.



Направления на рабочие центры смежных негативов называют начальным. Калька направления 1-го негатива накладывается на кальку 2-го таким образом, чтобы направления I-II 1-го негатива и II-I 2-го точно совпали, а расстояние между рабочими центрами равнялось вычисленному значению  $b$ . Затем берут кальку направлений третьего снимка, накладывают на вторую точно совмещают направления II – III и III – II. При данной установке, не сбивая ориентирования, 3-я калька перемещается вдоль начального направления II – III до тех пор, пока направление III – а не совместится со связующей точкой  $a$  (рис. 3). При этом в другой связующей точке  $b$  может возникнуть невязка в виде треугольника погрешности, допустимая величина стороны которого должна быть не более 0,6мм. Распределение невязки осуществляют поровну в точках  $a$  и  $b$  путем точного перемещения 3-й кальки направлений вдоль начального направления II – III до момента уменьшения этих треугольников вдвое. После этого кальки закрепляют грузиками, не нарушая их ориентировки. Измеряются длины треугольника погрешностей и сравниваются с допустимыми.

После этого накладывают 4-ю кальку направлений и добиваются аналогичного результата на другой паре связующих точек  $c, d$  (рис. 2), накладывают 5-ю кальку направлений и производят аналогичные операции.

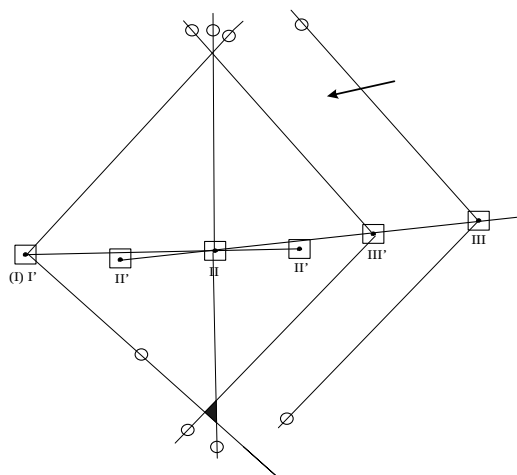


Рисунок 3

Затем на все пять калек направлений накладывают одну кальку, размеры которой равны длине и ширине полученной цепи фототриангу-

ляции. На эту кальку перекальвают точки пересечения направлений из рабочего центра на трансформированные точки (рис. 4) и опорные точки

с 1-й и 5-й калек направлений. В результате получают положение 4 трансформационных точек (рис. 5) и 2 опорных в некотором произвольном масштабе.

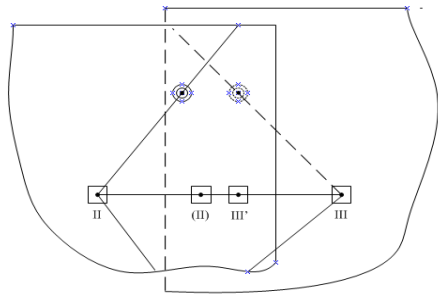


Рисунок 4

Сводная калька

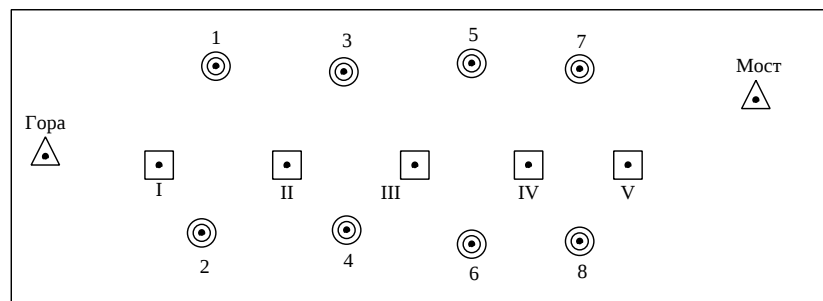


Рисунок 5

После всех графических построений оформляют сделанную работу должным образом. Оформленная работа должна содержать:

**Оформление работы:**

Оформленная работа должна содержать:

1. Пять фотоснимков
2. Пять калек направлений
3. Фототриангуляционную ромбическую сеть (сводная калька)
4. Пояснительную записку по выполнению работ с указанием точек, взятых в качестве рабочих центров, трансформационных связующих, а также остаточной величины треугольника погрешностей.

Вычислил студент \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. (Группа) (Фамилия, И.,

Практическая работа № 5

**Вычисление погрешности определения площади сечения выработки и погрешности определения объема выработки**

**Цель работы:** ознакомление студентов с вычислениями погрешности при определении сечения выработки и при определении объема выработки при фотоконтурной съемке подземной выработки.

Вычисление погрешности площади сечения выработки и погрешности определения объема выработки произвести в таблице № 1. Сделать выводы.

$m_{av} = \pm 0.03V$  – условие, удовлетворяющее при вычислении погрешности объема;

$m_{s\phi} = 2.1 \%$  - условие, удовлетворяющее при вычислении погрешности площади при

$l_{const} = 10.0 \text{ м}$ ;

Таблица №1

Параметры выработки				Базис фотосъемки	Погрешность определения объема выработки, $m_{av}$		Погрешность определения площади сечения выработки $m_{s\phi}$	
Вариант №1								
h, м	b, м	L, м	B, м	V, м <sup>3</sup>	$m_{av}$ , %	S, м <sup>2</sup>	$m_{s\phi}$ , %	
1,5	3,0	10,0	2,0					
2,0	4,0	15,0	3,0					

3,0	5,0	20,0	10,0				
5,0	5,0	80,0	20,0				
10,0	10,0	100,0	30,0				

Вариант № 2

h, м	b, м	L, м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>av</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
2,0	4,0	15,0	2,0				
3,0	4,0	15,0	3,0				
5,0	7,0	20,0	10,0				
5,0	7,0	60,0	20,0				
10,0	15,0	90,0	30,0				

Вариант № 3

h, м	b, м	L, м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>av</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
1,5,0	4,0	10,0	2,0				
3,0	3,0	20,0	3,0				
5,0	5,0	30,0	10,0				
5,0	10,0	60,0	20,0				
10,0	20,0	80,0	30,0				

Вариант № 4

h, м	b, м	L, м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>av</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
2,5,0	3,0	5,0	2,0				
3,0	5,0	15,0	3,0				
3,0	10,0	30,0	10,0				
5,0	7,0	60,0	20,0				
10,0	15,0	90,0	30,0				

Вариант № 5

h, м	b, м	L, м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>av</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
3,0	15,0	40,0	2,0				



3,0	5,0	15,0	2,0				
3,0	10,0	30,0	3,0				
3,0	40,0	30,0	10,0				
5,0	5,0	80,0	20,0				
10,0	10,0	50,0	30,0				

Вариант № 10

h,м	b,м	L,м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>av</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
2,0	5,0	10,0	2,0				
2,0	10,0	30,0	3,0				
3,0	30,0	30,0	10,0				
3,0	5,0	80,0	20,0				
5,0	5,0	50,0	30,0				

Вариант № 11

h,м	b,м	L,м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>av</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
1,5	2,0	10,0	2,0				
1,5	2,0	10,0	3,0				
2,0	5,0	50,0	10,0				
3,0	5,0	70,0	20,0				
10,0	3,0	100,0	30,0				

Вариант № 12

h,м	b,м	L,м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>av</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
5,0	5,0	100,0	2,0				
5,0	5,0	50,0	3,0				
5,0	5,0	50,0	10,0				
10,0	10,0	100,0	20,0				
10,0	10,0	80,0	30,0				

Вариант № 13

h,м	b,м	L,м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>av</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
-----	-----	-----	------	-------------------	---------------------	-------------------	---------------------

					%	м <sup>2</sup>	
3,0	3,0	60,0	2,0				
4,0	4,5	100,0	3,0				
4,0	5,0	30,0	10,0				
5,0	10,0	50,0	20,0				
10,0	5,0	100,0	30,0				

Вариант № 14

h, м	b, м	L, м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>ав</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
2,0	3,0	20,0	2,0				
3,0	3,0	30,0	3,0				
4,0	4,0	50,0	10,0				
5,0	4,0	70,0	20,0				
5,0	5,0	70,0	30,0				

Вариант № 15

h, м	b, м	L, м	B, м	V, м <sup>3</sup>	m <sub>ав</sub> , %	S, м <sup>2</sup>	m <sub>сф</sub> , %
3,0	3,0	60,0	2,0				
4,0	4,5	100,0	3,0				
4,0	5,0	30,0	10,0				
5,0	10,0	50,0	20,0				
10,0	5,0	100,0	30,0				

**Выводы:**

На основании подсчетов сделать выводы измерены ли геометрические параметры выработки с допустимой оптимальной погрешностью.

---



---

Вычислил студент \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. (Группа) (Фамилия, И.,





Вариант 1						
5	2.5	2.0				
		3.0				
		10.0				
		20.0				
		30.0				

Вариант 2

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
10	2.5	10.0				
		13.0				
		5.0				
		3,8.0				
		3.0				

Вариант 3

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
7	4.5	12.2				
		5.0				
		4.1				
		3.0				
		2.0				

Вариант 4

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
15	3.5	2.0				
		3.0				
		10.0				
		20.0				
		30.0				

Вариант 5

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$

3.5	2.0	13.9				
		10.0				
		6.0				
		5.0				
		4.0				

Вариант 6

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
7.5	4.0	2.0				
		3.0				
		10.0				
		20.0				
		30.0				

Вариант 7

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
10	5.0	2.0				
		3.0				
		6.0				
		10.0				
		20.0				

Вариант 8

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
12.5	6.0	2.0				
		3.0				
		10.0				
		20.0				
		30.0				

Вариант 9

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
15	7.5	5.0				

		7.0				
		10.0				
		15.0				
		20.0				
			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$

Вариант 10

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
4	2.5	2.0				
		5.0				
		11.0				
		15.0				
		25.0				

Вариант 11

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
7	2.5	1.0				
		3.0				
		7.0				
		9.0				
		11.0				

Вариант 12

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
15	5.0	6.0				
		13.0				
		15.0				
		20.0				
		30.0				

Вариант 13

			$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$	$m_{x\phi}$
10	7.5	2.0				

		8.0				
		12.0				
		25.0				
		30.0				

Вариант 14

			$m_{X\phi}$	$m_{X\phi}$	$m_{X\phi}$	$m_{X\phi}$
12	5.0	5.0				
		8.0				
		10.0				
		12.0				
		15.0				

Вариант 15

			$m_{X\phi}$	$m_{X\phi}$	$m_{X\phi}$	$m_{X\phi}$
10	4.5	2.0				
		3.0				
		10.0				
		20.0				
		30.0				

**Выводы:**

На основании произведенных подсчетов сделать выводы о правильности определения координаты  $X_{\phi}$  и определения погрешности фотограмметрических координат точек контура в сечении выработки.

Вычислил студент \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. (Группа) (Фамилия, И.О.)

*Вопросы к зачету практических работ*

Работа № 1

1. Какую съемку называют плановой ?
2. Какую съемку называют перспективой?
3. Что входит в техническое задание плановой аэрофотосъемки?
4. От чего зависит масштаб фотографирования?
5. Для чего планируют продольные (P) и поперечные (Q) перекрытия между снимками смежных маршрутов?

#### Работа № 2

1. Какие способы изготовления фотосхем применяются в фотограмметрии?
2. Что такое фотосхема?
3. С увеличением размеров территории, площадь которой измеряют по фотосхемам, точность результата будет возрастать. Объясните или опровергните это утверждение.
4. Будут ли одинаковыми расхождения на контролируемых точках при изготовлении контроля при изготовлении фотосхемы с одних и тех же снимков разными методами?
5. При оценке качества изготовления фотосхемы, что является предпочтительнее дублет или вырез и почему?

#### Работа № 3

1. На каком этапе человек может активно влиять на качество получаемого изображения.
2. От чего зависит фотографическое качество.
3. Что называется накидным монтажом.
4. С какой целью оценивается фотограмметрическое качество полученных снимков.
5. По каким показателям оценивается качество материалов аэрофотосъемки?

#### Работа № 4

1. Какие существуют способы построения плановой фототриангуляции?
2. Что является редуцией снимка ?
3. Какой снимок называется трансформированным?
4. Что такое одномаршрутная фототриангуляция?
5. Что из себя представляют графические сети?

#### Работа № 5

1. Перечислите способы проверки поперечных сечений выработок
2. Что такое фотоконтурный метод съемки?
3. Что позволяет обеспечить применение фотоконтурного метода съемок выработки?

#### Работа № 6

1. Перечислите элементы внутреннего ориентирования
2. Для чего при установке фотокамеры ее оптическая ось устанавливается по нормали к объекту съемки и соблюдаются условия вертикальности фотопленки и горизонтальности оптической оси камеры?
3. Для чего производят масштабирование снимка на выбранные расстояния съемки?

Все представленные в рабочей тетради практические работы преследуют цель ознакомить и в некоторой степени обучить студентов практической стороне тех работ, которые производят при создании топографических планов стереофотограмметрическими методами.

Приложение 2

Министерство образования и науки Российской Федерации  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»

С.О. Картунова, Е.А. Романько, О.С. Колесатова

**ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

Магнитогорск 2015

Рецензенты:

Главный маркшейдер ГОП, ОАО «ММК»  
А.Б. Пермяков

С.О. Картунова  
С 55

**Дистанционные методы зондирования Земли:** учеб. пособие / С.О. Картунова, Е.А. Романько, О.С. Колесатова.  
Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 127с.  
ISBN 978-5-9967-0122-3

Представленное учебное пособие позволяет освоить студентам программу по фотограмметрии и дистанционным методам зондирования Земли, применять на практике полученные знания при подготовке к лекциям и при выполнении практических заданий. Предназначено для студентов специальности 130402.65



УДК 621.74:004(075)  
ББК3.61,7

ISBN 978-5-9967-0122-3

Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г.И. Носова, 2014  
Картунова С.О., Романько Е.А.,  
Колесатова О.С., 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
Глава 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ФОТОГРАММЕТРИИ .....	6
1.1 Предмет фотограмметрии, его содержание и задачи.....	6
1.2 Наземная фототопографическая съемка .....	6
1.3 Аэрофототопографическая съемка .....	12
1.4 Особенности аэрофототопографической съемки карьеров....	13
Глава 2 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОТОГРАММЕТРИИ-16	
2.1 Центральная проекция снимка и ортогональная проекция плана16	
2.2 Элементы и свойства центральной проекции .....	17
Глава 3 ПЛАНОВАЯ АЭРОФОТОСЪЕМКА .....	23
3.1 Расчет плановой аэрофотосъемки .....	23
3.2 Получение снимков местности .....	24
Глава 4 ОДНОМАРШРУТНЫЕ ФОТОСХЕМЫ .....	27
4.1 Способы изготовления фотосхем .....	27
4.2 Составление фотоплана .....	29
Глава 5 ДЕШИФРИРОВАНИЕ.....	32
5.1 Дешифрирование материалов съемок.....	32
5.2 Технология дешифрирования.....	33
5.3 Два способа дешифрирования.....	36

5.4 Дешифровочные признаки объекта.....	43
Глава 6 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ 48	
Глава 7 СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНОВОЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ 51	
7.1 Общие сведения о плановой фототриангуляции .....	51
7.2 Графический способ построения маршрутной фототриангуляции	52
7.3 Аналитический способ построения маршрутной фототриангуляции	.58
ГЛАВА 8 СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ, ИЗМЕРЕНИЕ СНИМКОВ И МОДЕЛИ ...59	
8.1 Основы стереоскопического зрения .....	59
8.2 Стереоскопический эффект, простейшие стереоприборы .....	65
Глава 9 ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ.....73	
9.1 Общие положения.....	73
9.2 Перспективное трансформирование.....	74
Глава 10 ФОТОКОНТУРНАЯ СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК .79	
10.1 Общие сведения .....	79
10.2 Вычисление погрешности определения площади сечения выработки и погрешности определения объема выработки .....	81
10.3 Вычисление погрешности определения фотограмметрических координат точек контура сечения выработки .....	82
Глава 11 РЕШЕНИЯ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ СПОСОБОМ ФОТОГРАММЕТРИИ И ПРИ ПОМОЩИ GPS.....83	
11.1 Основные технологические схемы создания топографических планов.....	83
11.2 Составление маркшейдерских планов открытых горных пород.....	89
11.3 Определение деформаций инженерных сооружений.....	94
11.4 Применение GPS в горной промышленности.....	95
Глава 12 ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ СТАНЦИ.96	
12.1 Пакет PHOTMOD SP.....	96
12.2 Пакет PHOTMOD AT.....	102
12.3 ТАЛКА.....	103
12.4 ЦФС (Digitals/Delta).....	105
Глава 13 НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ-106	
13.1 Телевидение.....	106
13.2 Сканирующие оптико-электронные системы.....	108
13.3 Лазерные съемки.....	112
13.4 Радиоволновые съемочные системы.....	113
13.5 Сверхвысокочастотная радиометрия.....	116
13.6 Заключение.....	116
Глава 14 ПОНЯТИЕ О ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ-118	
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	123
Библиографический список.....	125
ГЛОССАРИЙ .....	127

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие по дисциплине «Фотограмметрия и дистанционные методы зондирования земли» составлено в соответствии с действующим Государственным образовательным стандартом и рабочими программами и предназначено для студентов очного и заочного факультета маркшейдерской специальности в качестве руководства при изучении курса и при выполнении практических работ.

## **Глава 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ФОТОГРАММЕТРИИ**

### **1.1 Предмет фотограмметрии, его содержание и задачи**

Фотограмметрия – техническая наука о методах определения формы, размеров и положения объектов по их фотографическому изображению. Характеристики объекта могут изучаться по его изображению на одиночном снимке или по паре перекрывающихся снимков, полученных из различных точек пространства. Если при изучении объекта используются свойства одиночного снимка, то такой метод получения необходимой информации называют фотограмметрическим. Если же он изучается по паре перекрывающихся снимков, то метод называют стереофотограмметрическим. Основная задача фотограмметрии – топографическое и специальные виды картографирования. Фотограмметрические методы позволяют экономно и достаточно точно решать прикладные инженерные задачи. Все работы выполняют по негативам или фотоснимкам, полученным как фотографическими съёмочными системами, так и нефотографическими съёмочными системами. Технология обработки снимков при получении от двух съёмочных систем выполняются аналогично по снимкам. Технология обработки снимков входит в рамки фотограмметрии.

Выполнению метрических действий предшествует процесс отбора подлежащих измерению или нанесению на изготавливаемые планы и карты объектов. Опознавание этих объектов, определение их качественных и численных характеристик, нанесение их положения или границ простираения и выражение полученных данных условными знаками называют дешифрированием. Этот процесс является неотъемлемой частью данной науки и является

технологией при использовании аэроснимков и космических снимков для картографирования территорий. Фототопография решает задачу создания топографических карт и планов и построения цифровых моделей местности с использованием материалов фотосъемки. Она является разделом фотограмметрии. Комплекс процессов, выполняемых для создания по снимкам топографических карт и планов, называется фототопографической съемкой. В зависимости от технических средств, применяемых для фотографирования местности, различают два вида фототопографической съемки: наземную фототопографическую, аэрофототопографическую, в горной местности их иногда комбинируют.

## 1.2 Наземная стереофототопографическая съемка

*Наземная стереофотограмметрическая съемка* — это составление плана путем обработки снимков местности, полученных фотографированием ее камерами, установленными на земной поверхности. Такую съемку особенно часто применяют при съемке горной местности.

Фотографирование местности выполняют фототеодолитами, а в настоящее время чаще цифровыми фотокамерами. *Фототеодолит* — прибор, представляющий собой фотокамеру с ориентирующим устройством, служащим для ориентирования фотокамеры в нужном направлении. На (рис. 1.1) показан фототеодолит Р30 фирмы Вильд (ФРГ), в верхней части которого укреплен теодолит, который используется как для ориентирования фотокамеры, так и для выполнения необходимых угловых измерений. Участок местности фотографируют из двух точек  $S_1$  и  $S_2$  (рис.1.2). Расстояние между ними называется базисом фотографирования. В результате фотографирования местности на стеклянной фотопластинке, помещенной в кассету фотокамеры, фиксируется снимок - изображение местности и координатные метки (рис. 1.3).

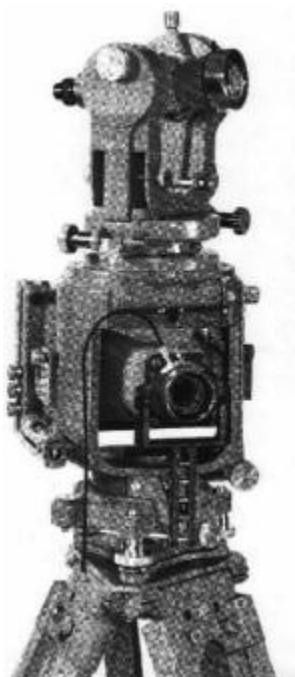


Рис. 1.1 Фототеодолит Р30

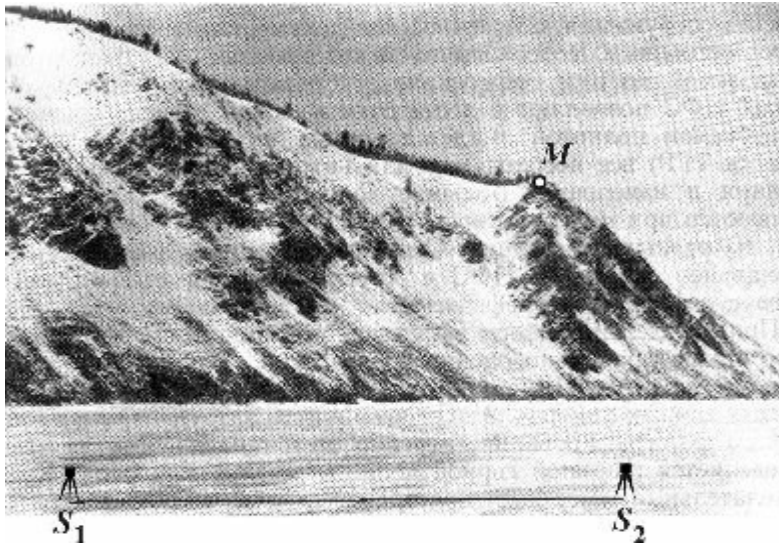


Рис1.2 Схема фотографирования местности

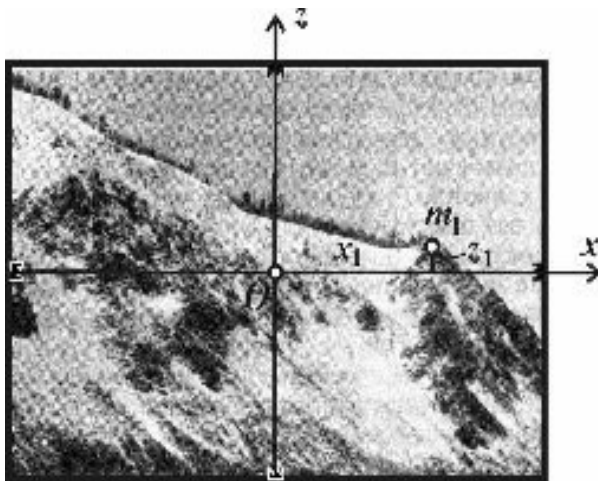


Рис.1.3 Фотоснимок (левый)

На снимке измеряют координаты изображений точек местности и их продольные параллаксы. Координатными осями снимка служат оси  $x$  и  $z$ , проходящие через координатные метки. На (рис.1.3) показан снимок и на нем - координаты  $x_1$  и  $z_1$  изображения  $m_1$  точки местности  $M$  (см. рис.1.2). При изготовлении и юстировке фототеодолита стремятся, чтобы пересечение  $O$  осей  $x$  и  $z$  совпадало с главной точкой снимка, то есть с точкой пересечения плоскости снимка главным лучом - проектирующим лучом, перпендикулярным к плоскости снимка. Нормальным случаем съёмки считают такой, когда при фотографировании главный луч фотокамеры  $S_1O_1$  (рис.1.4) устанавливают в горизонтальное положение и в обеих точках ( $S_1$  и  $S_2$ ) направляют перпендикулярно базису. Но часто съёмку выполняют с отклонением главных лучей от нормали к базису на одинаковые или даже разные углы. По результатам измерений вычисляют пространственные координаты точек местности, выраженные в фотограмметрической системе координат  $S_1XYZ$  (см. рис.1.4 а и б).

с фотограмметрическими координатами  $X, Y, Z$ :

$a$  – проекция на горизонтальную плоскость  $S_1XY$ ;

$b$  – проекция на вертикальную плоскость  $S_1YZ$

Началом фотограмметрических координат служит центр проекции левого снимка  $S_1$ . Оси  $X$  и  $Y$  лежат в горизонтальной плоскости. За ось  $Y$  принято направление главного луча фотокамеры  $O_1S_1$ , а ось  $X$  перпендикулярна к нему и при нормальном случае съёмки лежит в одной отвесной плоскости с базисом. Ось  $Z$  направлена вверх по отвесной линии. Точки  $O_1$  и  $O_2$  – главные точки левого и правого снимков. Точка местности  $M$  изобразится на левом снимке в точке  $m_1$ , а на правом – в точке  $m_2$ . Для вычисления фотограмметрических координат точки  $M$  используют следующие очевидные соотношения:

$$\frac{Y}{f} = \frac{B}{p}, \frac{X}{x_1} = \frac{Y}{f} = \frac{B}{p}, \frac{Z}{z_1} = \frac{Y}{f} = \frac{B}{p}, \quad (1.1)$$

где  $X, Y, Z$  – фотограмметрические координаты точки  $M$ ;  $p$  – продольный параллакс ( $p = x_2 - x_1$ );  $f$  – фокусное расстояние камеры;

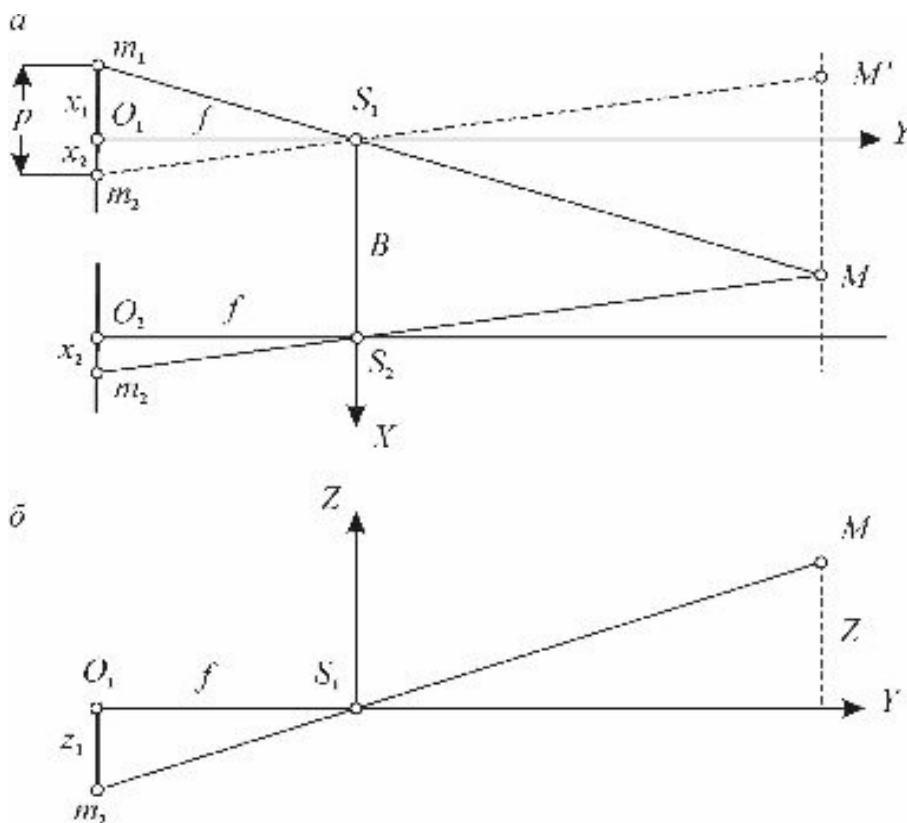


Рис. 1.4 Связь координат  $x, z$  на снимках

$B$  – горизонтальное проложение базиса, который измеряют с относительной погрешностью, не превышающей 1:2000. Из соотношений (1) вытекают формулы для вычисления фотограмметрических координат:

$$Y = \frac{B}{p} * f, \quad X = \frac{B}{p} * x_1, \quad Z = \frac{B}{p} * z_1 \quad (1.2)$$

При съемке значительных участков местности фотографирование разных ее частей приходится выполнять с разных базисов, получая координаты точек местности в разных фотограмметрических системах. От фотограмметрических координат  $X, Y, Z$  переходят к геодезическим прямоугольным координатам, например, координатам Гаусса–Крюгера  $x, y$  и нормальным высотам  $H$ . При нормальном случае съемки этот переход выполняют, используя формулы:

$$x_M = x_{s1} - X \sin \alpha + Y \cos \alpha \quad (1.3)$$

$$y_M = y_{s1} + X \cos \alpha + Y \sin \alpha \quad (1.4)$$

$$H_M = H_{s1} + Z \quad (1.5)$$

где  $x_m, y_m, x_{s1}, y_{s1}$  – геодезические прямоугольные координаты пикета  $M$  и центра проектирования  $S_1$ ;  $H_m$  и  $H_{s1}$  – высоты тех же точек;  $\alpha$  – дирекционный угол оси  $Y$ , то есть направления главного луча фотокамеры  $O_1S_1$ . Координаты и высоту центра проектирования, а также дирекционный угол направления  $O_1S_1$  определяют привязкой к опорной геодезической сети. Вычислив координаты и высоты достаточного числа пикетов, располагаемых в характерных точках контуров и рельефа, и нанеся их на план, вычерчивают очертания контуров и горизонталей. Вычисления и графические построения автоматизированы и выполняются по стандартным программам на цифровой фотограмметрической станции ЦФС, включающей компьютер, дисплей, устройства ввода и вывода информации, в том числе графопостроитель. Снимки местности вводятся в ЦФС в цифровом виде. Для этого, если изображение местности получено на фотопластинке или фотобумаге, его сканируют и преобразуют в цифровую форму. При фотографировании цифровыми камерами сразу получают цифровые снимки. В результате последующей обработки снимков формируется цифровая модель местности и при необходимости на графопостроителе вычерчивается план местности. Отметим, что наземная стереофотограмметрическая съемка применяется не только для составления планов местности. Фотографируя фасады зданий, архитектурные и исторические памятники, создают чертежи, подробно отражающие детали их формы, позволяющие выполнять точные их обмеры и создавать документы, используемые в последующем, например, при реставрационных работах. Очень часто формулы для определения координат точек местности по паре наземных снимков стараются упростить. С этой позиции в зависимости от положения снимков в момент фотографирования различают пять основных случаев (видов) съемки: нормальный, равноотклоненный (скошенный), конвергентный, равнонаклонный и общий (произвольный). В наземной фототопографии чаще всего применяют первые два. При решении специальных задач популярен и конвергентный случай, реже равнонаклонный. При конвергентном случае съемки главные лучи снимков горизонтальны, но не параллельны друг другу, а оси  $x$  на снимках горизонтальны (рис. 1.5). То есть  $\phi_l \neq \phi_n, \omega_l = \omega_n = \kappa_l = \kappa_n = 0$ . Угол  $\gamma$  между главными лучами левого и правого снимков называют углом конвергенции, если лучи сходятся, и углом дивергенции, если они расходятся

(118)

1.5 Аэрофототопографическая съемка.

Аэрофототопографическая съемка является основным видом при топографическом картировании в масштабах от 1: 100 000 до 1: 500. Фотографирование местности в этом случае производится аэрофотоаппаратом, установленным на самолете, вертолете или другом носителе. Основными процессами аэрофототопографической съемки являются: летносъёмочный, топографо-геодезический и фотограмметрический.

В задачу летносъёмочного процесса входят воздушное фотографирование местности, регистрация показаний спецприборов, фиксирующих положение снимков в момент фотографирования, а также фотографическая обработка материалов съемки и изготовление фотоснимков (если снимки получены не цифровыми камерами).

В топографо-геодезический процесс следует включить определение геодезических координат точек местности, изобразившихся на снимках. Эти точки называют опознаками. Их число зависит от принятой технологии съемки и ее масштаба, от качества снимков и физико-географических условий района работ. В топографо-геодезический процесс входит и дешифрирование – распознавание объектов местности, изобразившихся на снимках и определение их характеристик.

Фотограмметрический процесс состоит в сгущении опорного обоснования снимков с использованием данных полевых геодезических работ и показаний спецприборов, составлении плана или карты, которые затем оформляют и размножают, цифровых моделей местности и фотопланов.

### 1.5 Особенности аэрофототопографической съемки карьеров

Аэрофотосъемку карьера выполняют с целью составления и пополнения планов горных выработок, отвалов, хвостохранилищ, промплощадок, складов готовой продукции, и других объектов, а также для построения их цифровых моделей и, при необходимости, фотопланов. На организацию и параметры аэрофотосъемки влияют: место расположение карьера, его размеры, производительность, технология разработки, масштаб составляемого плана, параметры горных выработок и другие факторы. При проектировании съемки учитываются требования действующей маркшейдерской инструкции, которая, в частности, устанавливает два масштаба маркшейдерских планов: 1:1 000 и 1:2 000. Преимущественным методом составления плана является стереотопографическая съемка, при этом предусматривается сплошная привязка снимков, так как промежуток времени между фотографированием и получением окончательного продукта весьма ограничен (всего несколько дней). Основными процессами, съемки являются: составление проекта, выбор, закрепление и маркировку точек съёмочного обоснования, выполнение линейно-угловых измерений и вычисление координат точек, летносъёмочный процесс, стереообработка снимков и составление плана, как в цифровом виде, так и на жесткой основе. Съемку карьера выполняют периодически, как правило, один раз в месяц, причем фотографируют его не раньше, чем за пять дней до конца месяца, если оплата

объемов извлечения горной массы производится по маркшейдерским замерам. Летносъёмочные работы выполняют специализированные организации. В отличие от других объектов горные выработки карьеров располагаются на различной глубине, и когда число уступов более 10-15, условия съёмки на верхних и нижних горизонтах различны, что следует учитывать при составлении проекта. Наиболее эффективна съёмка группы близко расположенных друг к другу карьеров. В этом случае обработку материалов может осуществлять единая специализированная фотограмметрическая лаборатория.

Маркшейдерские планы в основном составляются на универсальных стереофотограмметрических приборах (аналитических или аналоговых). В последнем случае предпочтение отдают приборам, у которых большой диапазон перемещений мостика отстояний, богатый выбор коэффициента преобразования масштаба снимка к масштабу плана и которые обеспечены периферией для автоматизации процессов составления плана.

При составлении проекта используют план карьера масштаба 1:5 000 или 1:10 000. Данными при расчете параметров летно-съёмочных работ являются конфигурация и глубина карьера, масштаб составляемого плана, требования к точности определения объемов вскрыши и добычи, периодичность съёмки, возможности обрабатываемых приборов. Задача расчета параметров аэрофотосъёмки многовариантна. Оптимально то решение, при котором план всего участка составляется с требуемой точностью при минимальном числе маршрутов и снимков в маршруте. Наилучший вариант, если направления маршрутов параллельны основному фронту ведения горных работ. Причем естественно стремление обойтись только одним маршрутом, если карьер имеет вытянутую форму. Поэтому расчет начинают с измерения его ширины  $L$  и вычисления высоты  $H$  фотографирования по формуле  $H = fL/l$ , где  $l$  – формат кадра, равный 18см. При этом следует учитывать, что масштабы фотографирования не должны быть мельче 1:10 000 – при съёмке горных выработок в масштабе 1:1 000 и съёмке для контрольного определения объема выемки за два года и более длительный период, 1:15 000 – если масштаб маркшейдерского плана 1:2 000, 1:5 000 – при съёмке складов полезного ископаемого, 1:25 000 – при съёмке отвалов вскрышных пород. Расчет следует вести относительно нижних уступов, масштаб изображения которых будет минимальным. Отсюда следует, что при глубине карьера до 300м можно использовать АФА с небольшим фокусным расстоянием (70 – 100мм). При большей глубине фокусное расстояние принимают равным - 140 или 200мм. Если указанные выше требования не выдерживаются, то фотографируют несколькими маршрутами с соблюдением следующих технических требований:

- заданное продольное перекрытие снимков – 60 или 80%,
- углы наклона снимков – до 3°,
- изменение высоты полета в пределах маршрута – не более 50м,
- допустимый смаз изображения – 0.05мм.

Аэрофотосъёмочное оборудование устанавливают на самолете типа АН-2 или вертолете К-26.

При ежемесячной съёмке карьеров глубиной до 200м каждую стереопару обеспечивают четырьмя планово-высотными опознаками, расположенными по углам зоны продольного перекрытия. Если глубина больше, или цель съёмки - контроль определения объемов выемки за длительный период, необходим дополнительный высотный опознак в центре стереопары. Плановые планово-высотные опознаки – маркируют.

В процессе стереообработки внешнее ориентирование модели осуществляют не менее чем по четырем опознакам. Невязки на них не должны быть одного знака и превышать 0.4мм в плане и 0.03% по высоте (относительно высоты фотографирования над средней плоскостью снимаемого участка) Бровки уступа рисуют при непрерывном ведении измерительной марки по их видимому контуру на геометрической модели. Если откосы уступов имеют сложную форму, то кроме бровок проводят горизонтали (приблизительно посередине откоса) или наносят границы осыпи. На характерных точках бровок и контуров осыпей берут высотные пикеты с точностью до дециметров. Расстояния между смежными пикетами не должны превышать 20м при съёмке в масштабе 1:1 000 и 30м, если масштаб 1:2 000. Поверхность взорванных пород изображают горизонталями через 2.5 - 5м или пикетами.

Пример расчета параметров фотографирования. Требуется составить план карьера в масштабе 1:10 000. При этом ширина  $L$  карьера – 1.2км, глубина – 170м. Обработку снимков предполагается выполнить на топокарте с точностью  $m_p$ , измерения разности продольных параллаксов 0.01мм.

В соответствии с рекомендациями, приведенными выше, попробуем обойтись одним маршрутом, и для фотографирования использовать АФА с фокусным расстоянием 70мм. При заданных значениях высота фотографирования,  $H=525$ м над верхней поверхностью (при вычислении размер кадра принят равным 16 см, чтобы не измерять на краях снимка, где большие искажения) и 695м – над нижним уступом карьера. Масштаб фотографирования будет не менее 1:993, что удовлетворяет требованиям маркшейдерской инструкции. Коэффициент перехода от масштаба снимка к масштабу составляемого плана, очевидно, будет равен 10, но при обработке снимков на топокарте такой вариант возможен. Можно оценить и ожидаемую ошибку по высоте, используя формулу:  $m_z = 2.3Hm_p / b$ , где  $b$  базис фотографирования в масштабе снимка (примерно 70мм). После подстановки принятых значений получим  $m_z=0.22$ м. Или в относительной мере 0.033%, что практически в допуске. Таким образом, предлагаемые параметры стереофотограмметрической съёмки карьера вполне корректны и могут



быть реализованы.

## Глава 2 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОТОГРАММЕТРИИ

### 2.1 Центральная проекция снимка и ортогональная проекция плана.

Любой аэрофотоснимок представляет собой центральную проекцию снимаемого участка на местности.

Пусть  $A, B, C$  и  $D$  (рис. 2.1) точки местности, а  $S$  – центр проекции. Тогда точки пересечения  $a, b, c, d$  плоскости  $P$  с проектирующими лучами  $AS, BS, CS$  и  $DS$  есть центральные проекции соответствующих точек местности. Такую же центральную проекцию можно построить и в том случае, если плоскость проекции  $P'$  провести по другую сторону от центра проектирования и на том же расстоянии от него. Действительно, если это сделать, то получим точки  $a', b', c'$  и  $d'$ , причем согласно условию  $Sa' = Sa, Sb' = Sb, Sc' = Sc$  и  $Sd' = Sd$ . Плоскость  $P$  проекции дает негативное (обратное) изображение точек местности, а  $P'$  – положительное (прямое). То есть, позитив получается, когда объект и плоскость проекции помещены по одну сторону от центра проектирования, а негатив, если они расположены по разные стороны от него. Поскольку негатив и позитив располагаются симметрично относительно центра проекции, то они одинаковы (конгруэнтны). Отметим, что изображение объекта на плоскости снимка, полученное в центральной проекции, называется перспективным изображением. Если центр проектирования перенести на бесконечно большое расстояние относительно местности, то проектирующие лучи будут взаимно параллельны. Их пересечение с перпендикулярной к ним плоскостью дает ортогональную проекцию точек местности. В топографии такая проекция (при условии, что проектирующие лучи отвесны) называется горизонтальной.

Отличие между ортогональной (горизонтальной) и центральной

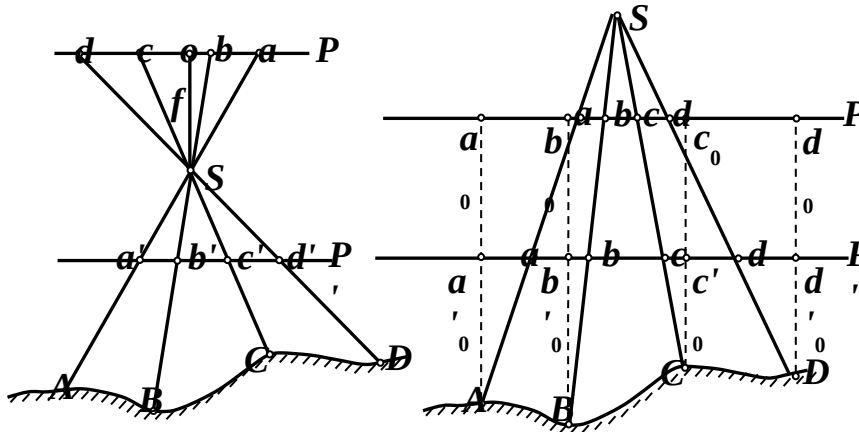


Рис. 2.1

Рис.2.2

проекциями видно на (рис. 2.2) Точки местности  $A, B, C$  и  $D$  изображаются на плоскости  $P$  в центральной проекции в точках  $a, b, c, d$ , а в ортогональной проекции – в точках  $a_0, b_0, c_0, d_0$ . При перемещении плоскости проекции в положение  $P''$  взаимное положение точек  $a_0, b_0, c_0$ , построенных в ортогональной проекции, не нарушится. В то же время точки  $a', b', c'$ , построенные в центральной проекции, свое взаимное положение изменят. Понятно, что для составления плана участка местности по его изображению на снимке необходимо перспективное изображение преобразовать в ортогональное. Но переносом центра проектирования в бесконечность такое преобразование практически не осуществить. Поэтому необходимо найти косвенные пути решения задачи.

### 2.2 Элементы и свойства центральной проекции.

Представление о элементах центральной проекции дает рис. 2.3, на котором изображены:

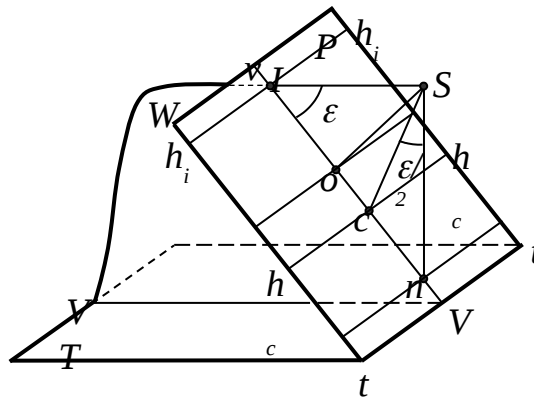


Рис. 2.3

- Плоскость  $T$ , в которой располагаются проектируемые точки местности, называется *плоскостью основания* (*плоскостью предмета*).
- Плоскость  $P$ , куда проектируются эти точки, называется *плоскостью изображения* (*картины*) или *плоскостью снимка*. Предполагается, что плоскости  $T$  и  $P$  бесконечны и ограничение их линиями является условным.
- совпадать с главной оптической осью фотокамеры, но в точности это не выполняется. Двухгранный угол  $\epsilon$ , между плоскостями снимка и основания – это *угол наклона снимка*. Он произволен, но если равен нулю, то снимок считается горизонтальным.
- $S$  – *центр проекции*.
- Проектирующий луч  $So$ , перпендикулярный к плоскости снимка, называется *главным лучом*. Он должен совпадать с главной оптической осью фотокамеры, но в точности это не выполняется.
- Точка  $o$  пересечения главного луча с плоскостью снимка называется *главной точкой*, а расстояние  $So$  – его фокусным расстоянием  $f$ . Оно должно быть равно фокусному расстоянию фотокамеры.
- Точка  $n$  пересечения отвесного проектирующего луча, с плоскостью снимка называется *точкой надира*. Она является изображением точки  $N$  местности, которая в момент фотографирования находилась на одной отвесной линии (на линии перпендикулярной основанию) с передней узловой точкой объектива фотокамеры.
- Вертикальная плоскость  $W$ , проходящая через точки  $S, o, n$  называется *плоскостью главного вертикала*.
- След  $vv$  плоскости  $W$  на снимке это его *главная вертикаль*, а след  $VV$  плоскости  $W$  на основании называется *линией направления съемки*.
- Горизонтальный проектирующий луч  $SI$ , лежащий в плоскости главного вертикала  $W$ , пересекает плоскость снимка в *главной точке схода*  $I$ .
- Точка  $c$  пересечения биссектрисы угла  $So n$  ( $\epsilon$ ) с плоскостью снимка называется *точкой нулевых искажений*. Она обладает важными свойствами, которые будут рассмотрены при изучении геометрической характеристики наклонного снимка. Точки  $I, o, c$  и  $n$  снимка располагаются на его главной вертикали.
- Линии  $hh$ , лежащие в плоскости  $P$  и перпендикулярные к главной вертикали, есть *горизонталы снимка*. Причем,  $h_i h_i$  – *линия основания*. Это линия пересечения плоскости снимка с плоскостью основания;  $h_c h_c$  – *линия неискаженного масштаба* – горизонталь, проходящая через точку нулевых искажений  $c$ ;  $h_o h_o$  – *главная горизонталь*, она проходит через главную точку снимка  $o$ ;  $h_i h_i$  – *линия действительного (истинного) горизонта* – линия пересечения снимка и горизонтальной плоскости (плоскости действительного горизонта), проходящей через центр проекции  $S$ .

Из анализа рисунка 3 следует справедливость следующих соотношений:

$$on = f \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \quad (2.1)$$

$$oc = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \quad (2.2)$$

$$oJ = f \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon \quad (2.3)$$

$$SJ = f / \sin \varepsilon \quad (2.4)$$

Свойства центральной проекции:

Перспективным изображением любой точки местности, например,  $A$ , является точка  $a$  и притом единственная (рис.2.4). Любой точке снимка, например,  $a$  соответствует бесчисленное множество точек местности  $A, A_1$  и т.д. Перспективным изображением любой прямой пространства, например  $BC$ , не проходящей через центр проекции, является прямая  $bc$ , и притом единственная. Но она изобразилась бы точкой, если бы располагалась на проектирующем луче, например прямая  $DK$  и точка  $d$

Рис. 2.4

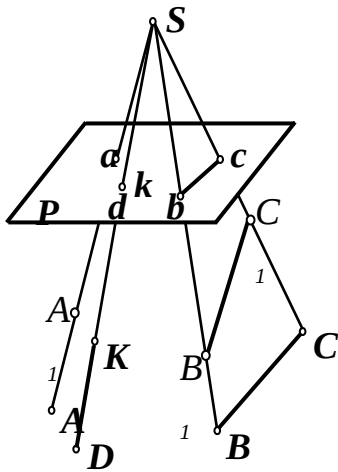
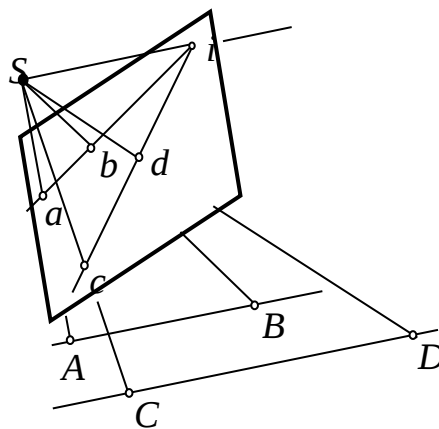


Рис.2.5



(или  $k$ ). Любому отрезку на снимке, например  $bc$ , соответствует бесчисленное число отрезков местности  $BC, B_1C_1$  и т.д.

Изображения любой системы взаимно параллельных прямых пространства, например  $AB, CD$  и т.д., сходятся на снимке в одной точке  $i$ , которая называется *точкой схода*. Для того, чтобы ее получить необходимо из центра проекции провести проектирующий луч параллельно системе прямых пространства. Там, где он пересечет плоскость снимка и находится точка схода (рис.2.5). Любая система прямых линий, параллельных плоскости снимка, имеет точку схода в бесконечности. Если параллельные прямые находятся на местности (в плоскости основания), то точка схода их изображений расположена на линии  $h;h$ ; *действительного горизонта*. Построение изображения семейства отрезков, лежащих в плоскости основания и параллельных линии направления съемки (или составляющих с ним угол  $\varphi$ ), выполняют следующим образом:

1. Отрезки продолжают до пересечения с линией основания картины. Полученные точки, принадлежат двум плоскостям – плоскости основания и плоскости снимка (картины).
2. На плоскости снимка находят положение главной точки схода  $J$ , и строят линию  $h;h$  перпендикулярную главной вертикали (линию действительного горизонта).
3. Через центр проекции  $S$  проводят луч, параллельный заданным отрезкам. Он будет расположен в плоскости действительного горизонта. Пересечение этого луча с линией  $h;h$  определяет точку схода  $J'$  изображений отрезков.
4. Соединяют прямыми линиями точку  $J'$  с точками, полученными на линии основания картины. Эти линии на снимке есть изображение лучей, идущих от линии основания картины, через заданные отрезки и до бесконечности.
5. Проводят проектирующие лучи через точки, ограничивающие отрезки. Их пересечение с построенными на снимке линиями и определяет искомое изображение.

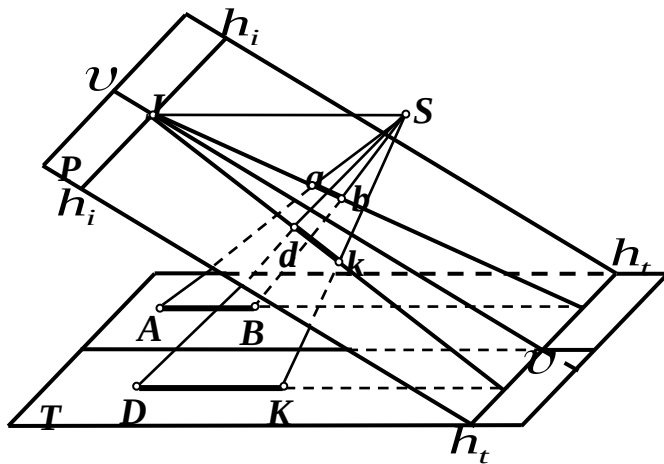


Рис.2.6

По этому правилу и построены изображения прямых, параллельных направлению съемки (рис.2.6) и прямой, составляющей с направлением съемки угол  $\varphi$  (рис.2.7). Точка схода изображений вертикальных (отвесных) прямых совпадает с точкой надира  $n$  (рис. 2.8). Пересечение  $B_0$  отрезка  $AB$  с плоскостью снимка находится на следе вертикальной плоскости, проходящей через прямую  $AB$  и параллельной плоскости главного вертикала,. Поэтому отрезок  $NB_0$  есть изображение бесконечного отвесного луча, идущего из точки  $B_0$ . Проекция точек  $A$  и  $B$  принадлежат этому отрезку, значит для их построения достаточно провести проектирующие лучи. Аналогичным

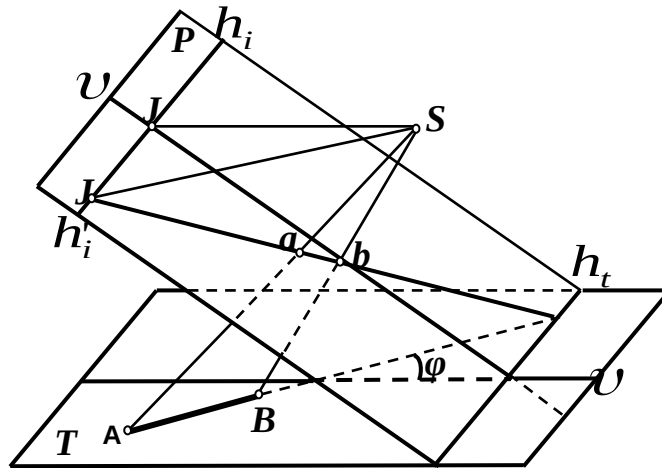


Рис.  
2.7

образом на рис. 2.8 построено изображение вертикальной прямой  $DK$ . Решение задачи можно было начать и с построения точки  $A$ , которая принадлежит плоскости основания.

Возможны и других приемы построения изображений параллельных линий.

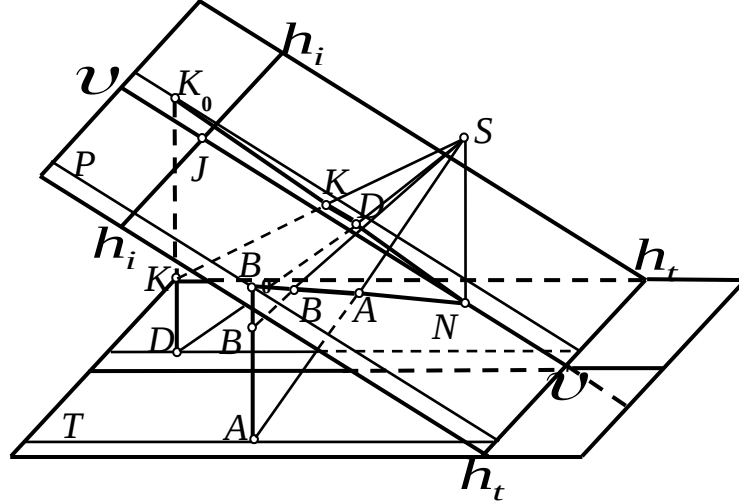


Рис.  
2.8

### Глава 3 ПЛАНОВАЯ АЭРОФОТОСЪЕМКА

#### 3.1 Расчет плановой аэрофотосъемки

Задачей выполнения лётно-съёмочных работ является получение аэрофотоснимков местности определенного качества. Аэрофотосъёмка для картографических целей производится АФА, как правило, с пилотируемых самолётов, пролетающих над местностью по заранее намеченным на карте маршрутам (маршрут - ряд перекрывающихся снимков одного направления). Прокладывают их так, чтобы снимки без разрывов покрывали всю картографируемую территорию. Для этого планируют продольные ( $P$ ) и поперечные ( $Q$ ) перекрытия между снимками смежных маршрутов. Для того чтобы получить снимки заданного качества, перед фотографированием местности выполняют расчет параметров аэрофотосъемки и составляют полетную карту на топографической основе, как правило, более мелкого масштаба, чем масштаб аэрофотосъемки. Для расчета необходимо знать размеры съёмочного участка, масштаб составляемого плана, фокусное расстояние аэрофотоаппарата, масштаб фотографирования и характеристику местности (в частности, его рельефа).

Для стереотопографического метода съемки важно учитывать, что точность определения высот точек по результатам измерения продольных параллаксов обратно пропорциональна высоте фотографирования. Значит, при заданном масштабе фотографирования, чтобы лететь ниже, необходимо использовать короткофокусные АФА ( $f = 70 - 100\text{мм}$ ). Если технологией предусмотрено составление фотоплана, то возникает противоречие, так как для уменьшения смещения точек за рельеф следует лететь повыше (Это не относится к цифровой технологии, если предполагается процесс ортофототрансформирования снимков). В такой ситуации фотографирование местности выполняют двумя коротко и длиннофокусными АФА, при соотношении масштабов фотографирования 1:2. При этом фотографирование в одном направлении осуществляют двумя камерами, в обратном направлении – длиннофокусным АФА. В процессе составления плана снимки с мелким масштабом используют для стереоскопической рисовки рельефа, крупномасштабные снимки – для составления фотопланов и дешифрирования.

Масштаб фотографирования зависит от масштаба составляемого плана, высоты сечения рельефа, а также от возможного соотношения между масштабами снимка и составляемого плана (то есть от характеристик используемого фотограмметрического оборудования). В инструкции [9, табл. 16 и 17] приведены соответствующие рекомендации. В цифровой фотограмметрии, где пределов на увеличение практически нет, указанное выше соотношение не следует выбирать более 10 (имея в виду, предельную графическая точность, равную 0.1 мм, и точность измерения снимков на мониторе компьютера не выше 0.01 мм).

#### 3.2 Получение снимков местности

Фотографирование каждого съёмочного участка выполняется непрерывными маршрутами одним и тем же АФА, при одних и тех же перекрытиях (продольных и поперечных), а также неизменной высоте полета по отношению к его средней плоскости. Аэрофотосъёмка выполняется с использованием гиросtabilизирующей системы и специальных приборов. Производится она в основном в безоблачную погоду при высоте Солнца над горизонтом не менее  $20^\circ$ . В процессе производства аэрофотосъемки одновременно с получением фотоснимков фиксируются превышения и высоты точек фотографирования. АФС можно классифицировать по количеству и расположению аэрофотоснимков (одинарная, маршрутная и площадная), положению оптической оси аэрофотоаппарата (плановая и перспективная) и масштабу фотографирования (крупномасштабная - 1: 10 000 и крупнее, среднемасштабная и мелкомасштабная - 1: 35 000 и мельче).

Одинарная АФС – фотографирование отдельных сравнительно небольших участков земной поверхности, когда аэрофотоснимки не перекрываются.

Маршрутная АФС – такое фотографирование полосы местности, при котором смежные аэрофотоснимки взаимно связаны заданным продольным перекрытием  $P$  (рис. 3.1). Причем величина его достигает 60 и более процентов, поэтому возникают и зоны тройного перекрытия, что очень важно при фотограмметрической обработке снимков. Маршрутная АФС может быть прямолинейной, ломаной и криволинейной. Площадная (многомаршрутная) АФС – фотографирование участка земной поверхности, который не захватить одним маршрутом. В этом случае

прокладываются несколько параллельных между собой аэрофотосъёмочных маршрутов (рис. 3.2). При этом смежные маршруты перекрываются. Называют общую часть изображений на снимках поперечным перекрытием  $Q$ .

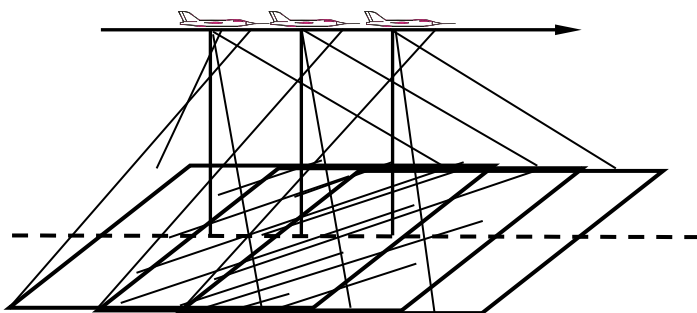


Рис. 3.1

Плановой называют аэрофотосъемку, при которой стараются получить горизонтальные снимки, но получают наклонные с отклонением оптической оси АФА от вертикали не более  $3^\circ$ . Перспективной считают АФС при наклоне оптической оси на заданный и сравнительно больший угол.

Основным видом аэрофотосъёмки является плановая АФС. Она производится в различных масштабах, которые

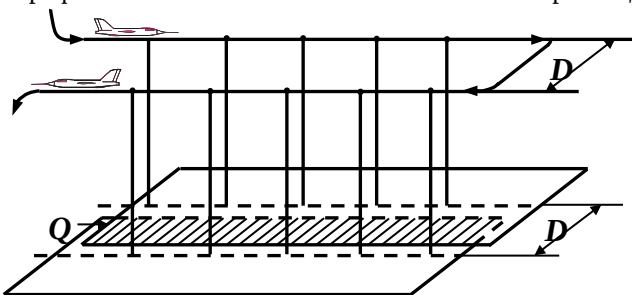


Рис. 3.2

зависят от высоты фотографирования  $H$  и фокусного расстояния  $f$  АФА, в частности:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \quad (3.1)$$

При получении снимков с поверхности земли в топографических целях местность фотографируют с разных точек пространства, но так, чтобы смежные снимки перекрывали друг друга. Оптические оси фототеодолита устанавливают при этом, как правило, горизонтально.

В процессе съёмки могут быть определены также и их координаты.

Исходными данными, необходимыми для выполнения аэрофотосъёмки местности являются следующие:

1. Границы картографируемого участка
2. Масштаб картографирования
3. Высота сечения рельефа
4. Фокусное расстояние АФА
5. Размер кадра
6. Масштаб фотографирования
7. Крейсерская скорость летательного аппарата
8. Время полета  $T_c$ , ч.
9. Допустимый смаз изображения
10. Максимальная высота

Для расчета необходимо знать размеры съёмочного участка, масштаб составляемого плана, фокусное расстояние АФА, масштаб фотографирования и характеристику местности (в частности, его рельефа).

Съёмочный участок наносят на полетную карту. Обычно его границами служат рамки трапеций. При съёмках с целью создания карт и планов в масштабах 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000, 1:2 000 минимальный размер съёмочного участка ограничивается рамками трапеций в масштабе на один ряд более мелком, чем масштаб фотографирования. Например, при съёмке с целью создания карты в масштабе 1:25 000 минимальный съёмочный

участок ограничивается рамками трапеции масштаба 1:50 000. Если создаются топографические планы в масштабах 1:1 000 и 1:500, площадь съёмочного участка не должна быть менее 1 км<sup>2</sup>.

## Глава 4 ОДНОМАРШРУТНЫЕ ФОТОСХЕМЫ

### 4.1 Способы изготовления фотосхем.

Фотосхема это фотографическое изображение местности составленное из рабочих площадей снимков. Используются либо контактные, либо увеличенные снимки. Фотосхемы бывают многомаршрутными и одномаршрутными. На предприятиях используют одномаршрутные фотосхемы. Фотосхемы монтируют и наклеивают на жесткую основу. Достоинство состоит в том, что для их изготовления не требуется геодезической подготовки снимков и на монтажные работы требуется мало времени. Фотосхемы можно использовать, как приближенный картографический материал. Фотосхемы незаменимый материал при выполнении дешифровочных работ с борта самолета или вертолета.

Различают два способа изготовления фотосхем – по соответственным точкам и по начальным направлениям. Первый способ может быть реализован в двух вариантах – в индивидуальной и совместной обрезке снимков. Способ по соответственным точкам с индивидуальной обрезкой. При индивидуальной обрезке вблизи средней линии продольного перекрытия снимков выбирают и накалывают на обоих снимках две надежно идентифицированные точки на (рис.4.1) точки *a* и *d*. Эти точки одна от другой должны располагаться на возможно большем расстоянии друг от друга. Приложив поочередно линейку к наколотым точкам на одном и другом снимке, обрезают их по линии *ad*. Для совместной обрезки смежные снимки накладывают один на другой, добиваясь наилучшего совмещения элементов изображения вдоль средней линии перекрытия. Качество укладки контролируют наколами в верхней и нижней частях перекрытия, а также в средней его части. Уклонение, контролируемых точек, в середине должно быть минимальным, а вверху и внизу направленными, вдоль средней линии. Отрезанные средние части снимков наклеивают на твердую основу. Если снимки разрезают индивидуально, то получают минимальное расхождение элементов изображения в середине пореза.

Второй способ – на всех снимках накалывают рабочие центры, т.е. четкие точки изображения, надежно опознаваемые на всех смежных снимках. Точки опознают на снимках (смежных) накалывают их. С помощью измерителя устанавливают степень разномасштабности используемых снимков. Для этого определяют разность расстояний между собственным и перенесенным рабочими центрами каждой пары смежных снимков. Подготовленные снимки попарно и поочередно укладывают один на другой так, чтобы отверстия на вспомогательных точках совпали точно, а не совмещения отверстий на рабочих центрах были направлены по начальному направлению. Если рабочие центры пробивали через снимок, штрихи нижнего снимка должны совпадать с центрами отверстий верхнего снимка. Обрезку снимков по данному способу можно выполнить только совместно по кривым или ломанным линиям.

Данная работа выполняется способом изготовления фотосхемы по соответственным точкам с индивидуальной обрезкой.

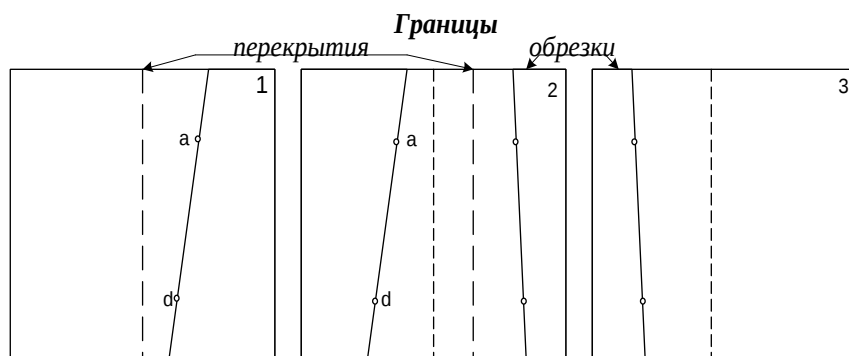


Рис. 4.1 расположение точек и порезов при монтаже фотосхемы по соответственным точкам с индивидуальной обрезкой

Качество монтажа фотосхемы оценивают с помощью обрезков. На каждом порезе можно использовать любой из двух обрезков. Обрезок прикладывают к порезу так, чтобы элементы изображения на нем точно совпадали с элементами вмонтированного в фотосхему фрагмента того же снимка. Иглой вдоль пореза, не отступая далеко от него, через 2,3 см накалывают четкие точки изображения. Сняв обрезок, измеряют отклонения наколов от точек, которые накалывают на обрезке. Аналогично выполняют контроль по другим порезам. Важно оценить смещение накола в продольном направлении. Если накол оказался между линией пореза и точкой, наколотой на обрезке, это значит, что изображение в этом участке пореза дублируется – смещение на корректурном листе обозначают знаком «+». В противном случае на фотоснимке образуется вырез, размер которого показывают на корректурном листе со знаком «-». Корректурный лист представляет собой уменьшенное схематическое изображение фотосхемы с примерным сохранением формы порезов.

Допустимые размеры дублетов и вырезов официально не регламентируется, но дублеты предпочтительнее вырезов (рис. 4.2).

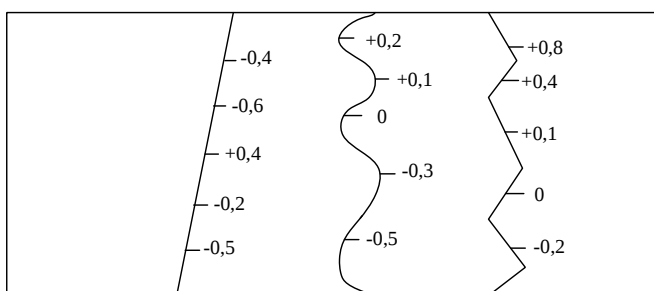


Рис. 4.2 Корректирующий лист

По выполнению работы оценивается качество монтажа фотосхемы с помощью обрезков и измеряется смещения, полученные на корректирующем листе в мм, а также отображаются полученные значения на данном корректирующем листе.

#### 4.2 Составление фотоплана

В зависимости от целевого назначения различают фотопланы топографические и специальные. Первые составляют в общегосударственной разграфке с соблюдением инструкций и наставлений по топографическим съемкам (например, инструкции [9]). **Специальные фотопланы** составляют, как правило, в произвольной разграфке, и они должны удовлетворять требованиям ведомственных инструкций. В отличие от графического плана, фотопланы обладают большей наглядностью, поэтому многими специалистами и используются. На них могут быть нанесены горизонтالي. В результате получается фотокарта. Фотопланы составляют из трансформированных снимков путем монтажа их на основе по опорным точкам. Иногда их составляют из плановых снимков, если при фотографировании местности применялись АФА с гиростабилизирующей установкой. Действительно, в соответствии с формулой (6) и с учетом коэффициента трансформирования можно записать:

$$\delta r_{\varepsilon} = -k \frac{r^2}{f} \varepsilon \quad (4.1)$$

Пусть  $f=200$  мм,  $r=70$  мм,  $\varepsilon=10'$  и  $k=2$ , тогда смещение за наклон  $\delta r_{\varepsilon}=0.14$  мм, что вполне удовлетворительно. Значит, снимки можно просто увеличить до масштаба составляемого фотоплана, после чего и выполнять монтаж.

Фотоплан составляют на жесткой основе (бумаге, наклеенной на алюминий, авиационной фанере или пластике), на которой по координатам в заданном масштабе нанесены опознаки, пункты геодезической сети и трансформационные точки. Выполняют это либо путем монтажа отдельных фотоснимков либо путем оптического монтажа с одновременным трансформированием по зонам. Основными процессами составления первым из названных способов являются: подготовительный, монтаж снимков, контроль качества фотоплана и его оформление. Подготовительные работы включают: подбор фотоснимков по трапециям и по маршрутам в пределах трапеции; контроль их качества и точности трансформирования; пробивку пуансоном отверстий диаметром около 1 мм на всех опорных, трансформационных точках, и пунктах геодезической сети. Контроль точности трансформирования выполняют путем совмещения отверстий на снимке с соответствующими точками на основе так, чтобы отклонение центров отверстий от точек были одинаковыми. Снимки, для которых эти отклонения превышают 0.4 мм, а также снимки с резкими изменениями фототона трансформируют заново. Монтаж начинают с левого снимка северного маршрута. Его укладывают на основу, усредняя погрешности совмещения центров отверстий с точками на основе и закрепляют грузиками. Затем на основу укладывают вторую снимок, так же совмещают отверстия с опорными точками и, закрепив его, проверяют сходимость контуров в зоне перекрытия. Для этого накальвают четкий контур на верхнем снимке и проверяют, где он оказался на нижнем снимке. Отклонение накала от контура не должно превышать 0.7 мм. После этого разрезают оба снимка одновременно примерно посередине продольного перекрытия. Линия пореза не должна проходить через ответственные контуры и вдоль линейных объектов. Обрезки от каждого снимка сохраняют для последующего контроля, а соответствующие части первого и второго снимков наклеивают на основу. Аналогичные операции выполняют при соединении второго и последующих снимков маршрута, а также при монтаже снимков смежных маршрутов. Но в последнем случае контроль сходимости контуров, а также порез, осуществляют и по поперечным перекрытиям. У снимков трансформированных по зонам пуансоном пробивают отверстие не в трансформационных точках, а в точках, которые получаются после введения поправок за рельеф. А



после их совмещения с точками на основе и проверки сходимости контуров разрезают снимки вдоль границ зон. После окончания монтажа всех снимков, получившееся изображение обрезают параллельно рамке трапеции, отступая от границ на 1 см. Оптический способ составления фотопланов выполняют на основе с наклеенной фотобумагой, путем трансформирования снимков по зонам. Основу укладывают на экране фототрансформатора и сверху покрывают рубашкой (светонепроницаемым листом бумаги), на которую наносят сетку координат, пункты геодезической сети, опорные точки опознаки, углы рамки трапеции и границы зон. В положение точек на снимке (перед установкой его в кассете) вводят поправки за рельеф. Совмещают точки на рубашке с изображениями отверстий. Ланцетом вырезают часть рубашки, соответствующую первой зоне, производят экспонирование и эту часть вновь заклеивают. Также экспонируют вторую зону и т.д. После экспонирования всех зон производят фотохимическую обработку. **Контроль качества монтажа выполняют по точкам, порезам и сводкам.** Отклонение центров отверстий, пробитых пуансоном, от точек на основе не должны быть более 0.5 мм для равнинных и всхолмленных и 0.7 мм для горных районов. При контроле по порезам используют обрезки снимков, которые укладывают на фотоплан по линиям пореза, после чего иглой накальвают характерные контуры. Отклонения наколов на фотоплане от соответствующих контуров не должны превышать соответственно 0.7 и 1.0 мм. Аналогичен контроль по сводкам смежных фотопланов с допусками 1.0 и 1.5 мм. После контроля на фотоплане вычерчивают рамку трапеции, километровую сетку, пункты сети и выполняют зарамочное оформление. Для практического использования с него изготавливают копии на матовой фотобумаге, наклеенной на жесткую основу.

## Глава 5 ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Под дешифрированием понимается выявление, распознавание и определение характеристик объектов местности, изобразившихся на фотоснимках. В зависимости от назначения и задач, решаемых в ходе дешифрирования, различают два его вида: топографическое и специальное.

### 5.1. Дешифрирование материалов съемок

Обработки материалов съемок подразделяются на 2 основных вида:

1. *Предварительная (межотраслевая)* – коррекция снимков: устранение искажений и помех (по техническим и природным причинам) – приведение снимков к виду, пригодному для анализа и интерпретации (расшифровке).
2. *Тематическая (отраслевая)*. В нашем случае – экологическая.

Моделирование и прогнозирование – это дальнейший этап работы с материалом, который необходим для прогнозирования развития явления или процесса (например, талого стока рек, будущего урожая, осадков, движения ураганов, торнадо, извержения вулканов, экологических катастроф и т.д.). Для этого определяют количественные характеристики явления.

*Дешифровочные свойства* – это свойство объектов, нашедшие отражение на снимке и используемые для распознавания.

*Дешифровать снимок* — это значит обнаружить, распознать, классифицировать и интерпретировать выявленный объект или явление.

Дешифрирование снимков как дисциплина является составной частью аэрокосмических методов, которые кроме дешифрирования включают:

- способы получения аэрокосмических снимков,
- фотограмметрию и стереофотограмметрию, изучающие методы геометрических измерений по снимкам,
- фотометрию,
- структурометрию.

Предмет которых — изучение яркостных различий изображений объектов на снимке.

**Снимки** дают полное изображение *физиономичных (отчетливо различаемых)* на них элементов ландшафта, соответствующих определенному иерархическому уровню:

- глобальному — на мелкомасштабных космических,
- детальному — на крупномасштабных аэроснимках.

Общим для названных дисциплин является понятие о снимке.

Дешифрирование — важный этап процесса *картографирования*. При создании крупномасштабных топографических карт доля дешифрирования составляет более 25% всего объема работ. При картографировании с использованием космической информации она существенно больше, иногда процесс дешифрирования является даже преобладающим.

**Фотограмметрическая обработка** (специальными приборами) дает ответ на то, где находится объект, его геометрические характеристики (размер и форма). Она позволяет определять по снимкам плановое и пространственное положение объектов и их изменение во времени.

**Особенности дешифрирования:**

- на снимках находят отражение не все, а только определенные свойства объектов (некоторые свойства оказываются утерянными, другие — частично искаженными);
- объект представлен на снимке в обобщенном виде (отсутствуют многие детали);
- на снимке запечатлен только определенный момент состояния объекта, в то время как мы воспринимаем окружающий мир в развитии;
- изображение на снимке одного и того же объекта изменчиво в зависимости от многих факторов;

- на снимке изображаются объекты, не видимые с земли из-за слишком большого размера;
- изображение на снимках не соответствует привычному для нас виду, так как необычен ракурс наблюдения (сверху).

**3 метода получения информации** по космическим снимкам:

1. *Дешифрирование,*
2. *Фотограмметрическая обработка,*
3. *Компьютерные технологии.*

Выбор метода дешифрирования зависит от следующих факторов:

- поставленной задачи,
- характера объекта,
- географических условий,
- масштаба и точности карты,
- сроков выполнения работ,
- обеспеченности материалами и инструментами,
- обеспеченности кадрами соответствующей квалификации.

## 5.2 Технология дешифрирования

Под технологией дешифрирования понимается совокупность средств и приемов извлечения информации со снимков. Предварительный этап дешифрирования включает подготовку съемочных материалов (данные из фонда аэрокосмических материалов) и сбор дополнительных материалов, это:

- литературные источники (научная литература, методические пособия, справочники) – сведения о географических особенностях территории, о существовании и специфике объектов,
- карты – государственные топографические, тематические, ведомственные источники.
- ведомственные материалы – планы лесоустройства (лесное ведомство), планы и карты землепользований, почвенные карты (сельскохозяйственные ведомства), навигационные карты (Гидрографическая служба).

Наиболее рациональной технологией является такая, при которой удастся извлечь со снимка максимум информации при минимальной затрате средств и труда.

Особое внимание отводится к сбору дополнительных материалов. Проводят районирование территории.

Порядок дешифрирования зависит от:

1. Поставленной задачи,
2. Характера местности,
3. Масштаба (детальности) снимка.

Качество результатов дешифрирования зависит от применяемых методик и технологических процессов.

Космические снимки отличаются от аэрофотоснимков генерализацией изображения.

Дешифрирование всегда носит целенаправленный характер, поэтому говорят о:

- *топографическом,*
- *ландшафтном,*
- *геоморфологическом,*
- *сельскохозяйственном и других видах дешифрирования.*

Три степени дешифрируемости материалов:

1. *хорошую,*
2. *среднюю,*
3. *слабую (плохую).*

*Хорошая дешифрируемость.* Уже на стадии предварительного дешифрирования можно получить довольно полное представление о геологическом строении местности:

- можно выделить все элементы геологического строения (границы стратиграфических подразделений осадочных, эффузивных пород, интрузивных образований и новейших континентальных отложений, элементы складчатой структуры и разрывные нарушения),
- устанавливаются элементы залегания и мощность пород.

*Средняя дешифрируемость.* При средней дешифрируемости можно составить только общее представление о геологическом строении района:

- выделяются только главные элементы геологического строения и тектоники,
- устанавливаются границы литологически различных пород, на отдельных участках выделяется слоистость в осадочных и эффузивных толщах, контуры интрузивных тел выявляются по косвенным признакам, новейшие континентальные образования и разрывы дешифрируются достаточно четко.
- элементы залегания и мощность пород удается определить лишь в отдельных пунктах.

*Слабая дешифрируемость.* При слабой дешифрируемости обнаруживаются лишь отдельные черты геологического строения:

- выявляются лишь некоторые элементы геологического строения и тектоники,

- в осадочных и вулканогенных толщах намечается преобладающее простирание слоев, границы интрузивных тел проводятся условно, новейшие континентальные образования оконтуриваются без расчленения, элементы складок и положение разрывов устанавливаются по косвенным признакам.

*Основной методологический принцип*, применяемый в процессе дешифрирования, — рассмотрение объектов в их развитии и взаимосвязи. Дешифрирование дает ответ на то, что изображено на снимке – «чтение» и интерпретация снимков по дешифровочным признакам. В зависимости от геолого-тектонического строения районов применяют различные методы дешифрирования снимков:

- Прямой,
- Контрастно-аналоговый,
- Ландшафтно-индикационный.

*Применение прямого метода* – только в геологически открытых районах, где коренные горные породы выведены на поверхность. Фототонные различия, а также особенности структуры и рисунки изображения на снимках этих районов обусловлены геологическими телами, их окраской, вещественным составом, залеганием. Поэтому здесь возможно непосредственное отождествление выделенных на снимках объектов с геологическими телами и прямое сопоставление геолого-геофизических материалов с данными дешифрирования. Прямой метод дешифрирования позволяет устанавливать поля развития горных пород различного состава и генезиса, границы стратиграфических подразделений осадочных и вулканогенных пород, характер их залегания, тектонические нарушения. *Контрастно-аналоговый (контурно-геологический) метод* используют при работе с аэрофотоматериалами и космическими снимками всех уровней генерализации как в геологически открытых, так и в геологически закрытых районах. Контрастно-аналоговый метод основан на связях внешних компонентов ландшафта с геологическим строением и сравнении дешифрируемых объектов с «фотопортретами» эталонных структур геологически однотипных площадей. Геологические объекты, аналогичные по строению и истории развития, имеют сходные изображения на снимках. На снимках ключевых участков проводится дешифрирование неоднородностей фототона и рисунков фотоизображения. Затем наземными полевыми исследованиями устанавливается геологическая природа отдешифрированных объектов, т. е. проводится их интерпретация. Использование контрастно-аналогового метода: на основании исследований:

- составляются таблицы дешифровочных признаков,
- и подбираются снимки — эталоны с типичным фотоизображением изученных геологических объектов, их «фотопортреты».

При дешифрировании новых геологических однотипных площадей задача сводится к отысканию объектов, сходных с «фотопортретом» эталонной геологической структуры. *Ландшафтно – индикационный метод дешифрирования* применяют в геологически закрытых районах при работе с аэрофотоснимками, а также космическими снимками среднего и высокого разрешения.

### 5.3. Два способа дешифрирования

1. **на местности (полевое дешифрирование)** – Достоинства: высокая степень достоверности, изучение местности на момент дешифрирования, (современность). Недостатки: невысокая производительность, высокая стоимость, метеозависимость.
2. **в лабораториях (камеральное дешифрирование)** – Достоинства: малая затрата времени и труда. Недостатки: не обеспечивает полноты и достоверности результатов. Но в обоих случаях присутствует зависимость от сроков, инструментов и кадров.

#### **Полевое дешифрирование**

Полевое дешифрирование состоит из:

- Наземного дешифрирования,
- Аэровизуального дешифрирования,
- Подспутниковых наблюдений.

Полевое дешифрирование заключается в сопоставлении изображения на снимке (*фотоплане, фотосхеме*) с местностью.

#### **Наземное дешифрирование** может быть:

- сплошным,
- выборочным,
- маршрутным (чаще при географических исследованиях) – включает описания, сбор образцов, измерения, фотографирование эталонных участков. Обычно на открытой местности дешифровщик может наблюдать полосу шириной до 500 м, в залесенной, с пересеченным рельефом – не более 300 м. Наземное дешифрирование включает все этапы подготовки. При этом просмотр (по возможности стереоскопический – стереочками, полевыми карманными стереоскопами – «Топопрет») и подготовка снимков (для равнинной территории – единого масштаба снимков; для горной местности – масштаб отдельно для долин и отдельно для склонов и хребтов). После просмотра снимков составляется предварительный вариант легенды.

*Достоинство* наземного дешифрирования: возможно одновременно собирать дополнительные сведения и данные об объектах, а также выполнять и другие работы.

**Аэровизуальное дешифрирование (дешифрирование с воздуха)** выполняется с борта вертолета (скорость 2 км./мин.) или легкого самолета. Время работы специалиста – около 2 часов. Заранее необходимо проработать маршрут полета (нанести его на карту или снимок). При высоких требованиях к детальности определить высоту (200-400 м., макс. до 800 м.) и скорость полета (не более 100 км.час.), подготовить и систематизировать съемочный материал. *Обработка данных* при аэровизуальном дешифрировании состоит из оформления, корректировка или расшифровка неясных мест в записях выполняется в тот же день. *Достоинство* - большое число ориентиров и большой охват территорий. *Возможность наземных наблюдений.* Подспутниковые наблюдения – это единовременное получение информации об объекте на земле, с воздуха и из космоса. Виды работ могут быть комплексными, это съемка с самолета разной аппаратурой, синхронно со съемкой из космоса, спектрометрирование с воздуха и на земле, писание состояния всех объектов земной поверхности на снимаемом участке, измерения, взятие проб. *Достоинство космических снимков:* большой охват территорий. Большая достоверность. *Недостатки космических снимков:* процесс сложен организационно, низкое разрешение, видно мало ориентиров. *Применяется* для изучения и картографирования природных ресурсов.

**Камеральное дешифрирование** - это распознавание объектов на снимке в лабораторных условиях, путем сопоставления изображения с имеющимися *эталомами* и знаниями и опыту самого дешифровщика.

два метода камерального дешифрирования (распознавания, извлечения информации):

1. *Визуальное* – выполняет дешифровщик по фотоматериалам и на экране монитора (самое распространенное). 2. *Автоматизированное* – выполняется приборами – на персональных компьютерах или на специальных приборах (требует качественных снимков).

Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

**Визуальное дешифрирование** – это процесс, выполняемый исполнителем независимо от того, в каком виде представлен снимок (фотоотпечаток, изображение на экране монитора, изображение на специальных приборах. Визуальное дешифрирование использует 2 вида восприятия:

1. *Зрительное* восприятие,
2. *Логическое* восприятие.

**Зрительное восприятие** – условно делится на восприятие по яркости, по цвету, размерам, по объемам. *Восприятие яркости* – это величина физиологическая. Она характеризует ощущение света человеком в противоположность яркости, реально существующему свойству окружающего мира. Это восприятие основывается на способности воспринимать яркостные различия, которую принять характеризовать пороговыми значениями световой чувствительности зрения. Разностный порог ( $V_p$ ) - это разность яркости объекта ( $V_o$ ) и окружающего фона ( $V_f$ ):

$$V_p = V_o - V_f \quad (5.1)$$

Пороговый контраст ( $K$ ) (или дифференциальный порог) - это отношение разностного порога к яркости фона:

$$K = V_p/V_f \quad (5.2)$$

**Восприятие цвета.** Цвет – это ощущение человека, возникающее при восприятии света с различными длинами волн. Глаз воспринимает диапазон волн от 0,39 до 0,70 мкм. Цветовой порог (или цветовая чувствительность) для разных участков спектра разный, например наиболее чувствителен глаз - Днем – к желто-зеленому участку спектра, при электрическом освещении – к оранжевому и красному. Зависимость восприятия цвета от площади объекта на малых полях – цвет разрушается. Для того чтобы определить цвет объекта, его площадь должна в 2-3 раза превышать размер, при котором он обнаруживается. Цвет с трудом поддается измерениям. Применяют понятия: *тон, насыщенность, светлота.* *Восприятие размера.* Способность глаза различать детали характеризуется «остротой зрения» – это минимальный угол, под которым видно 2 точки или 2 линии раздельно. Обычно это 20-45 сек. *Восприятие объема (стереоскопическое восприятие).* Стереоскопическим восприятием называется зрительное представление об объемности предметов и их пространственном расположении. Рассматривают объект (на 2 снимках) обоими глазами – возникает «стереоскопическая модель». Глазной базис человека (расстояние между глазами) – от 55 до 75 мм. (среднее 65 мм). Приборы для визуального восприятия как правило это *Увеличительные приборы* – лупы (обзорные, штативные, Измерительные), *стереоскопические приборы* (получение объемного изображения) – Линзово-зеркальный стереоскоп ЛЗС-1 (поле зрения 12 см. и увеличение 1,4 крат); интерпретоскоп (для деш. снимков 30X30 или 23X23 см.). Имеет возможность разного увеличения (2-15 крат) и для каждого снимка, *приборы для преобразования изображения, синтезирующие проекторы, комплексы синтезирующей аппаратуры.* При визуальном дешифрировании многозональных снимков применяют 3 приема:

1. Дешифрирование одного зонального снимка – проводится в случае, когда одна из съемочных зон в наибольшей степени удовлетворяет поставленной задаче. Обычно – снимок в ближней инфракрасной зоне (хорошо деш. спектр воды, растений – темный).
2. Дешифрирование серии зональных снимков,

3. Дешифрирование цветного синтезированного снимка. **Логическое восприятие** – это особенность восприятия человеком действительности. Глядя на пейзаж, человек видит не отдельные пятна разной яркости или цвета, не линии и точки, а образы – лес, поле, дорогу... Составляя логическую цепочку, мы группируем отдельные признаки объектов в рисунок и определяем их, используя похожие образы. У всех людей логическое мышление разное. **Начало работы:** просмотр снимков (от общего к частному, от крупных объектов к мелким), по возможности *стереоскопически*. Затем: изучение мелких участков с увеличением (по возможности использовать топографические карты более крупного масштаба), установление, набор и систематизация объектов (фактов), распределение их по важности и полезности, установление новых логических связей (с использованием косвенных методов). Основной принцип камерального дешифрирования – это *эталонное* дешифрирование, основанное на сравнении изображения на снимке с образом (эталоном), сформировавшимся ранее у дешифровщика при работе с другими снимками.

**Эталонирование (калибровка).** Получить посредством дешифрирования (визуального или компьютерного) или фотограмметрической обработки необходимые характеристики изучаемого объекта только по снимкам без каких-либо натуральных определений, без обращения к «земной правде» в большинстве случаев невозможно. Например, для спектротрических определений по многозональному снимку, на которых основано компьютерное дешифрирование, требуется выполнить радиотрическую калибровку снимков (их *эталонирование*), а для получения размера объекта по снимку фотограмметрическим способом необходима его геометрическая калибровка. Различают *абсолютную* и *относительную* калибровку. Процедура получения и учета калибровочной информации составляет необходимый элемент технологической схемы аэрокосмических исследований. Эта информация обязательна для любой обработки снимков, хотя объем ее бывает различным – чем выше требуемая точность определений по снимкам, тем он значительнее. При обработке одиночных снимков ограничиваются *относительной калибровкой*, а нескольких, например многозональных, желательна их *абсолютная калибровка*. Современные компьютерные технологии позволяют решать следующие группы задач:

1. визуализация цифровых снимков;
2. геометрические и яркостные преобразования снимков, включая их коррекцию;
3. конструирование новых производных изображений по первичным снимкам;
4. определение количественных характеристик объектов;

компьютерное дешифрирование снимков (классификация). Наиболее сложной является задача компьютерного (автоматизированного) дешифрирования, которая составляет фундаментальную проблему аэрокосмического зондирования как научной дисциплины и для решения которой прилагалось и прилагается много усилий. *Эталонами* могут быть: специально подготовленные аэроснимки, карты территорий (тематические или более крупного масштаба), результаты целенаправленно выполненных полевых работ. В результате находят сходные признаки и объекту присваивается класс. По такому же принципу работает автоматизированное дешифрирование; *эталон* при этом называют «*обучающей выборкой*». Особенности камерального дешифрирования: зависимость от дополнительных материалов (поэтому необходим сбор дополнительных материалов, в том числе – знать дату старых съемок). *Основной принцип* – эталонное дешифрирование. В качестве эталонов могут быть: специально подготовленные снимки, тематические карты части территорий (более крупного масштаба), результаты целенаправленно выполненных полевых работ (наблюдения), крупномасштабные карты. *Эталон содержания* – это снимок, полностью отдешифрированный в (принятых) условных обозначениях. При этом на ключевых (важных) участках или маршрутах собирается вся информация (описания, измерения, отбор образцов, фиксируется на карте данное место).

#### **Возможности визуального дешифрирования:**

Анализ изображения выполняется на уровне объектов, размеры которых в несколько раз больше разрешения (пиксела). Количественные оценки (площади, длины и т.д.) могут быть получены лишь приближенно. Анализ яркости (тон изображения) на черно-белых изображениях возможен в пределах до 12 ступеней. Совместный анализ зональных снимков ограничен, т.к. сопоставление более 2-х снимков затруднителен. Форма объектов в плане определяется легко и однозначно. Форма объектов в пространстве (их вертикальная протяженность) легко определяется на паре смежных снимков (по стереоприбору или по тени). Пространственное размещение объекта определяется легко. Хорошо используются косвенные признаки. Возможно дешифрирование сразу по выверенной легенде. Результаты дешифрирования обычно субъективны.

**Возможности автоматизированного дешифрирования:** Анализ изображения выполняется на уровне отдельных пикселей. Количественные оценки (площадь, длина и т.д.) получаются с высокой точностью. Детальный и точный анализ яркостных различий ограничен лишь свойствами цифрового снимка. Возможен хороший анализ многозонального снимка. Определить форму объекта в плане сложно (практически сейчас не решается). Форма объекта в пространстве может быть определена по паре смежных снимков (стереочками и спец. программами). Пространственную информацию получить сложно. Определяются лишь яркость и структура. Использовать косвенные признаки практически невозможно. Используются лишь простые легенды (часто не совсем логичные). Результаты цифровой обработки объективны, но зависят от параметров, заданных исполнителем. При топографическом картографировании малообжитых труднодоступных районов. *Преимущество* визуального метода (перед автоматизированным): экономичность, легкость и быстрота получения пространственной информации

(формы, размеры объектов, особенности их распределения), одновременное использование всех дешифровочных признаков (и прямых, и косвенных), применение дешифровщиком логического мышления и интуиции (что пока не умеет машина). *Недостаток* визуального метода: субъективизм (зависимость от дешифровщика), малая надежность, зависимость от компетентности дешифровщика, качества дополнительных и съёмочных материалов, качества и достоверности *эталонов*.

Автоматизированное дешифрирование, компьютерные технологии обработки снимков по специальным алгоритмам и программам (с обучением и без). Дают точность 70-85%. Для фотограмметрических измерений снимков применяют специальные прецизионные оптико-механические приборы, а также компьютерные комплексы со специализированным программным обеспечением. Для обработки аэрокосмических снимков на персональных компьютерах можно использовать коммерческое программное обеспечение общего назначения. Географ должен уметь выбрать оптимальный вариант обработки из многих возможных, предоставляемых коммерческим программным обеспечением. В компьютерной технологии используется *эталонирование*, так как для выполнения компьютерного дешифрирования необходимо получить калибровочную информацию, где учитывается описание абсолютная или относительная; радиометрическая или геометрическая калибровка исследуемого объекта (размер, высота, цвет, излучение и т.д. объекта). Задача *компьютерного дешифрирования* снимков сводится к классификации — последовательной <сортировке> всех пикселей цифрового снимка на несколько групп. Для этого предложены алгоритмы классификации двух видов — с обучением и без обучения (кластеризации – от англ. «скопление, группа»). При классификации с обучением пиксели многозонального снимка группируются на основе сравнения их яркостей в каждой спектральной зоне с *эталонными* значениями. При кластеризации же все пиксели разделяют на группы-кластеры по какому-либо формальному признаку, не прибегая к обучающим данным. Затем кластеры, полученные в результате автоматической группировки пикселей, дешифровщик относит к тем или иным объектам. Достоверность компьютерного дешифрирования формально характеризуется отношением числа правильно классифицируемых пикселей к их общему числу и составляет в среднем 70— 85 %, заметно падая с увеличением набора дешифрируемых объектов.

Преимущество метода заключается в том, что образуется возможность преобразования яркостей цифровых снимков для улучшения их восприятия, применение математических операций, возможность наложения изображений снимков (при многозональной съёмке), сопоставление разновременных снимков одного и того же объекта (с целью изучения его изменений во времени).

Недостаток метода - результаты не всегда объективны (достоверность всего 60-80%), метод не совсем самостоятельный (часто помогает и дополняет исполнитель). Визуальный и автоматизированный методы имеют свои достоинства и недостатки.

#### 5.4 Дешифровочные признаки объекта

**Дешифровочные признаки** – свойства объектов, нашедшие отражение на снимке и используемые для распознавания. Выделяют две группы дешифровочных признаков - *прямые (общие, основные) и косвенные (специальные)*.

Прямые дешифровочные признаки – свойства объекта, находящие непосредственное отображение на снимках, присущие самим объектам. *Свойства прямых признаков* (по данным разных авторов):

*геометрические* – форма, конфигурация, размер, объем, рисунок объектов или *структурные* (линейные и объемные), *общие (фотограмметрические)* – фототон, цвет.

Иногда добавляют – *взаимное расположение*.

По другим данным к прямым дешифровочным признакам относят три группы признаков:

1. *геометрические* (форма, тень, размер);
2. *яркостные* (фототон, уровень яркости, цвет, спектральный образ);
3. *структурные* (текстура, структура, рисунок).

**Геометрические признаки (форма, тень, размер).** *Форма* — это наиболее надежный, т.е. не зависящий от условий съёмки, признак. Наш глаз наиболее уверенно распознает именно форму объектов. С изменением масштаба снимков форма объекта на снимке может несколько изменяться, за счет исчезновения деталей она упрощается. На аэроснимках, полученных короткофокусной камерой, форма плоских объектов искажается на краях снимка. То же происходит, если объекты располагаются на наклонной поверхности. На космических снимках форма объектов, не имеющих вертикального протяжения, передается практически без искажений. *Форма в плане* – плане часто используется при распознавании объектов, связанных с деятельностью человека, так как они (как правило) имеют форму, близкую к правильной геометрической. *Тень* - дешифровочный признак, позволяющий судить о пространственной форме объектов на одиночном снимке. Виды теней: *собственная, падающая. Собственная тень* позволяет судить о поверхности объектов, имеющих объемную форму: резкая граница тени угловатых объектов характерна для крыш домов, а размытая – свидетельствует о плавной поверхности, например, крон деревьев. *Падающая тень* играет огромную роль. Определяет вертикальную протяженность и силуэт объекта. Позволяет сравнить объекты по высоте.

*Размер объекта* — не вполне надежный признак. При дешифрировании чаще используются не абсолютные, а относительные размеры объектов.

*Яркостные признаки* (уровень яркости, фототон, цвет, спектральный образ). На возможность геологического дешифрирования существенно влияют спектральные характеристики (степень контраста геологических тел,

отличающихся по спектральной яркости). При многозональной съемке в разных спектральных интервалах геологические тела, снятые при различных погодных условиях, отображаются на космических снимках с разной степенью контрастности.

*Освещенность земной поверхности*, т.е. количество световой энергии, приходящейся на единицу площади, преимущественно складывается из прямой и рассеянной солнечной радиации, соотношение между которыми меняется в зависимости от:

- высоты Солнца,
- крутизны
- и ориентировки склонов.

При высоком Солнце преобладает прямая радиация, что приводит к резким различиям в освещенности склонов разной экспозиции: одни склоны оказываются освещенными, другие — в тени или полутени. В ясный, безоблачный день в околополуденные часы освещенность склонов может различаться в четыре—шесть раз. Тени в это время занимают наименьшую площадь, но зато плотность их очень велика, поэтому объекты в тенях распознаются очень неуверенно или не распознаются вовсе. При низком Солнце возрастает доля рассеянной радиации, тени становятся более прозрачными, хотя и значительно большими по площади. Разница в освещенности склонов разной экспозиции уменьшается. *Уровень яркости (спектральная отражательная способность)*. Яркостные дешифровочные признаки связаны с одним и тем же свойством объектов местности — спектральной отражательной способностью:

- фототон (или тон фотоизображения),
- уровень яркости (или кодированная яркость),
- цвет,
- спектральный образ.

*Спектральная яркость на цветных и многозональных снимках:*

На цветных – спектральная яркость объектов отображается *цветом*,

На многозональных – спектральная яркость объектов отображается «*спектральным образом*» (набором тонов или уровней яркости в зонах). На шкале тонов оптическая плотность каждой ступени измеряется (на денситометре) и получается условное название фототона. *Фототон* – это оптическая плотность изображения на черно-белых фотоотпечатках при визуальном анализе. Этот признак является функцией интегральной или зональной (в относительно узкой зоне спектра) яркости объектов. Та же интегральная или зональная яркость на цифровых снимках закодирована уровнями яркости шкалы обычно из 256 числа ступеней.

Табл.1 Шкала тонов для визуального дешифрирования

Фототон	Принцип выделения	Значение оптической плотности
Белый	Крайний визуально различимый	0.1 и менее
Почти белый	Плотность вуали	0.2-0.3
Светло-серый	Минимальная плотность большинства фотоизображений	0.4-0.6
Серый	Средняя плотность большинства фотоизображений	0.7-1.1
Темно-серый	Максимальная плотность большинства фотоизображений	1.2-1.6
Почти черный	Тон, превышающий максимальную плотность большинства фотоизображений	1.7-2.1.
Черный	Крайний визуально различимый тон шкалы	2.2. и более

Использование данного метода:

- При компьютерном является основным,
- При визуальном дешифрировании реже (чаще при черно-белой съемке по одиночным снимкам с использованием шкалы тонов).

Недостатки спектрального метода:

- Изменчивость спектральной яркости объекта (зависимость от высоты Солнца и прозрачности атмосферы),

- Зависимость от фазы вегетативного развития,
- неоднозначность изобразительных свойств съемочных систем,
- Зависимость от условий фотохимической обработки,
- Фототон, уровень яркости, цвет и спектральный образ одного и того же объекта на разных снимках могут сильно изменяться. **Структурные (рисунок, текстура, структура).**
- Текстура* – сочетание элементов изображения – различия в фототоне.
- Структура* – крупные элементы, у которых распознаются форма и размер.
- Рисунок* – несколько различных структур, формирующих устойчивые сочетания, типичные для определенных объектов земной поверхности. *Рисунок изображения* – это сложный, но самый надежный признак. Он представляет сочетание объектов и их частей определенной формы, размера и тона (цвета). **Косвенные признаки (специальные) признаки по индикаторам: --- геоморфологические (форма рельефа, строение гидросети),**
- геоботанические,
- антропогенные и зоогенные,
- почва,
- природные территориальные комплексы,
- проявляющиеся в генетических взаимодействиях с другими объектами,
- иногда Фотогенные (фототон, фотোগраммометрические, характерный рисунок).

Косвенные признаки делят на три группы индикаторов:

1. *Объектов* – объекты, не изобразившиеся на снимке (например, отсутствие на снимке дороги на пересечении с рекой предполагает наличие моста или брода),
2. *Свойств объектов* (чаще скрытые) – например, индикатором горно-обогатительных предприятий оказываются отстойники (водоемы, имеющие в плане конфигурацию близкую к правильной),
3. *Движения или изменений* – объекты-индикаторы динамики, которые позволяют выявить наличие движения или временных изменений по материалам одной съемки (например, мутьевые потоки, выносимые реками в прибрежную зону озер или морей, говорят о течении в приповерхностном слое воды. Ориентировка песчаных дюн позволяет определить направление преобладающих ветров под *обнаружением* понимается установление объекта без определения его сущности. Выявление объекта с определением качественных и количественных характеристик его сущности является распознаванием.

**Генерализация изображения** - это степень обобщения спектральных и геометрических характеристик ландшафта фотографируемой территории. Мелкие элементы ландшафта и геологического строения объединены на космическом снимке в более крупные, т. е. *генерализованы*. В результате этого в формировании изображения на космических снимках выявляется ведущая роль геологических и прежде всего тектонического факторов.

**Классифицировать объект** — это отнести его к определенному классу и присвоить ему условный знак, а интерпретировать — определить состав объекта и динамику его развития. Эти понятия, введенные для топографического дешифрирования снимков А.В.Аковецким, в общем верны и для геологического дешифрирования, которое заключается в выявлении и установлении геологической природы объектов, не только выходящих на земную поверхность и нашедших прямое отражение на снимках, но и скрытых растительным покровом, рыхлыми отложениями, плитным чехлом и проявленных на снимках опосредованно через различные элементы ландшафта. Из определения вытекает, что выражение «дешифрирование объектов (рельефа, растительности и т.д.)» не вполне точно, правильнее говорить о «дешифрировании изображений объектов» или «дешифрировании изображений».

**Индикатор.** Определение одних компонентов ландшафта по другим, физиономичным, легко опознаваемым на снимке, так называемым индикаторам, – распространенный прием географического дешифрирования. *Индикатор* — это наблюдаемый на снимке признак, который позволяет установить *труднонаблюдаемый* или *скрытый* геологический объект. Известно, что наличие рыхлых осадков, серпентинитов, глинистых сланцев, высокая степень раздробленности почв (пород), повышенный тепловой поток и выходы термальных вод (способствующие пластичности пород) – снижают концентрацию напряжения. Концентрация напряжения повышается в активных зонах (скрытых на глубине под толщей недислоцированных отложений), тектонических покровах или слоях земной коры с иным (чем на глубине) расположением активных структур. Наиболее опасные зоны – это участки сочленения разломов разных направлений, активные в разных слоях земной коры (*пример*: Центральные Кызылкумы). В основе ландшафтно-индикационного метода дешифрирования заложен:

- анализ корреляционных связей выявленных на снимках фотоаномалий с внешними и внутренними компонентами ландшафта - дешифрирование геологических объектов посредством их индикаторов, или косвенных дешифровочных признаков. Различают частные и комплексные индикаторы:
- *частными* индикаторами чаще являются растительность и рельеф,
- *комплексными* индикаторами является облик природно-территориальных комплексов (что относится к ландшафтному методу дешифрирования).

*Индикационные связи* — это связи явных, физиономичных компонентов ландшафта со скрытыми геологическими структурами. **Применение косвенного дешифрирования.** Роль косвенных дешифровочных признаков тем больше, чем мельче масштаб снимков и больше охват территории. Поэтому их чаще используют при *географическом* дешифрировании (ярким примером применения ландшафтного метода служит изучение и картографирование подземных вод, рельефообразование, формирование берегов морей и т.д.). При *топографическом* дешифрировании – их используют редко.



## Глава 6 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ.

Качество материалов аэрофотосъёмки оценивается по фотографическим и фотограмметрическим показателям. Фотографическое качество проверяется сличением аэрофильма с эталоном или посредством фотометрических определений плотностей. Проверяется также качество изображения координатных меток, часов и уровня, отсутствие механических повреждений эмульсии и т.д.

Фотограмметрическое качество оценивается с целью определения соответствия параметров полученных снимков заданным параметрам фотографирования. По измерениям на накидном монтаже проверяют: соответствие перекрытий снимков; прямолинейности маршрутов аэрофотосъёмки и параллельности базисов фотографирования сторонам снимка («ёлочки») допустимым значениям. По измерениям снимков устанавливают также соответствие фактической высоты фотографирования заданному значению; оценивают предельные углы наклона снимков и выравнивание фильма в плоскость. В паспорте аэрофотосъёмки указываются: тип самолёта, на котором установлена аппаратура; фокусное расстояние аэрофотоаппарата и постоянные статоскопа; расстояние между координатными метками прикладной рамки или координаты оптических меток; величина фотограмметрической дисторсии по осям и зонам; координаты главной точки.

Выбор технологии обработки снимков (аналоговой она или цифровой) мало влияет на характер лётносъемочных работ. Дальше этот фактор становится принципиальным. Но ряд процессов являются общими для любой технологии. К ним можно отнести трансформирование снимков, сгущение сети (фототриангуляцию) и дешифрирование.

Методика оценки, а также качественные и количественные характеристики допустимых показателей излагаются в нормативных документах или в специальных технических условиях.

На производстве оценку начинают с просмотра контактных отпечатков, обращают внимание на дефекты (точка, пятно, полоса), механические повреждения эмульсии. Затем оценивают фотографическое качество изображений – проработку света и теней участков изображения, отсутствие излишней контрастности и вуали, частичную или общую не резкость изображения. Результаты записывают в таблицу.

Важную роль при оценке качества играет накидной монтаж. Составляют его из контактных отпечатков на чертежной доске, и начинают его монтировать с левого снимка маршрута. Это позволяет видеть номер каждого снимка.

Раскладывают снимки по маршруту, используя номера фотоснимков. Определяют направление маршрутов. Прикрепив первый снимок, накладывают второй, так, чтобы совместились контура в зоне продольного перекрытия. В силу различных причин добиться точного совмещения не удастся, поэтому возникающие погрешности равномерно распределяют к противоположным краям снимка. По накидному монтажу определяют – продольное перекрытие. Продольное  $P$  перекрытие измеряют специальной линейкой, проградуированной в процентах. Затем определяют прямолинейность ( $K$ ) для маршрута, у которого отклонение снимков от его оси максимально. Оценивается прямолинейность отношением стрелки прогиба  $l$  к длине маршрута  $L$ , выраженным в %. Способ измерения указан на рисунке 6.1.

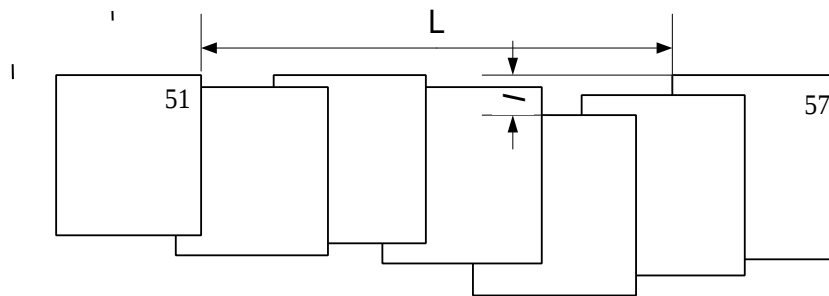


Рис. 6.1

Оценивается прямолинейность по формуле 6.1 и выражается в %.

$$K = \frac{l}{L} \times 100\% \quad (6.1)$$

Где:

$l$  стрелка прогиба

$L$  длина маршрута

Непараллельность базиса стороне фотоснимка выражается углом  $\epsilon$ . Угол  $\epsilon$  измеряют между линией  $xx$ , соединяющей координатные метки снимка, и осью маршрута (рисунки 6.2).

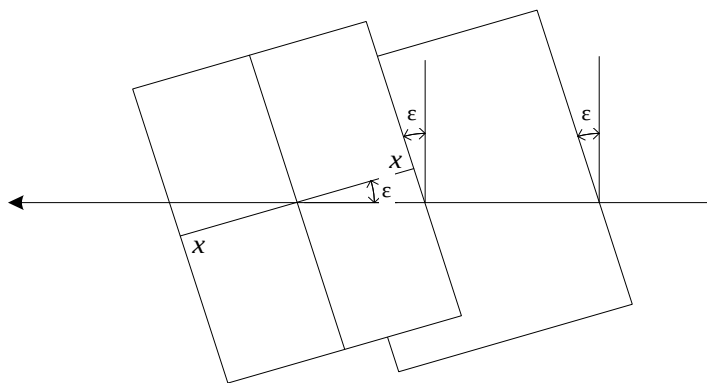


Рис. 6.2

Угол измеряется транспортиром.

В результате выполнения лётно-съёмочных работ для последующей фотограмметрической обработки получают аэронегативы, контактные отпечатки, репродукции накидного монтажа и их негативы, негативы показаний спецприборов, паспорт аэрофотосъёмки. В паспорте аэрофотосъёмки указываются: тип самолёта, на котором установлена аппаратура; фокусное расстояние аэрофотоаппарата и постоянные статоскопа; расстояние между координатными метками прикладной рамки или координаты оптических меток; величина фотограмметрической дисторсии по осям и зонам; координаты главной точки.

## Глава 7 СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНОВОЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ

### 7.1 Общие сведения о плановой фототриангуляции

Фототриангуляция это камеральное сгущение сети опознаков, полученных в процессе полевых работ. Сущность фототриангуляции в построении по снимкам модели, ее ориентировании и определении координат точек сгущения. Если определяют только плановые координаты точек, то фототриангуляцию называют плоскостной, а если все три координаты – пространственной. В настоящее время на производстве используют в основном, пространственную фототриангуляцию. Классифицируют ее также по количеству маршрутов, участвующих в построении модели и применяемым техническим средствам.

В зависимости от построения сети различают аналитические сети и графические сети. В аналитической пространственной фототриангуляции построение модели и определение координат точек сгущения выполняется на ЭВМ по результатам измерения снимков на стереокомпараторе (аналитическом стереоприборе) или непосредственно на ЭВМ. Этот вариант не накладывает ограничений на формат и элементы ориентирования снимков. Он отличается наивысшей производительностью труда и точностью, так как в процессе машинной обработки результатов измерений учитываются все систематические погрешности, влияние которых можно выразить в математической форме.

Графические сети это сети, построенные графическим способом по имеющимся фотографическим материалам. Плоскостная фототриангуляция с определенной степенью точности, может быть выполнена графическим способом. В основу плоскостной фототриангуляции положено важное свойство планового снимка, заключающегося в том, что при малых углах его наклона и незначительном рельефе снимаемой местности центральные углы на снимке равны центральным углам на местности. Возникающие при этом искажения, вызванные наклоном снимка, направлены в точку нулевых искажений, а искажения за рельеф местности – соответственно в точку надира. При плановой аэросъемке эти точки находятся около главной точки. Установлено, что заданная точность проведения радиального направления может быть достигнута, если вершиной его на снимке будет взята любая контурная точка в пределах окружности, описанной радиусом  $R$  около главной точки. Результаты графической триангуляции могут быть использованы для трансформирования аэрофотоснимков.

### 7.2 Графический способ построения маршрутной фототриангуляции

Построение плановой фототриангуляции, графическим способом, производится в такой последовательности.

3. Выбирают и накалывают рабочие центры на каждом из снимков. Для этого соединяют координатные метки  $X$  и  $Y$  снимка прямыми линиями. Точка пересечения этих прямых будет главной точкой снимка. Если главная точка не совпадает, с каким либо четким контуром (любая характерная точка снимка), то из

данной точки проводят окружность радиусом  $\frac{f}{50}$  (где  $f$  - фокусное расстояние фотокамеры, мм), в пределах этой окружности накалывают четкий контур, который определяют и накалывают на других снимках. Накалотые центры отмечают квадратом. (рис.7.1)

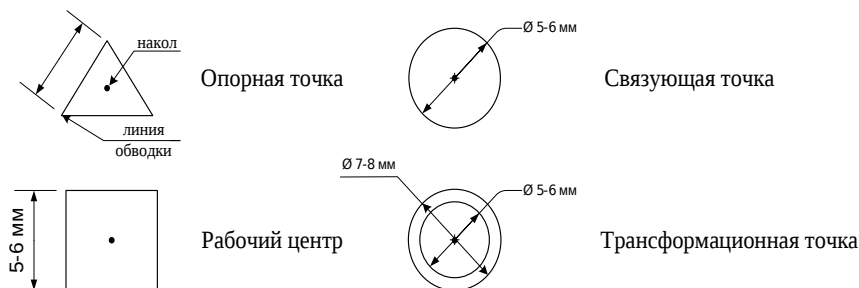


Рис. 7.1

4. Выбирают и накалывают трансформационные, связующие и опорные точки. Трансформационные точки (в качестве подобных точек необходимо взять точки изображенных на снимках объектов, имеющих четкие контуры). Их выбирают в зоне перекрытия двух смежных снимков, в пределах их рабочих зон. Накалотые точки обводят двумя окружностями (рис. 7.1). Толщина линии обводки должна быть в пределах 0,2-0,3мм. Трансформационные точки по возможности размещают в углах рабочей площадки снимка.

После этого выбирают и накалывают связующие точки. Связующие точки выбирают в зоне тройного перекрытия трех смежных снимков по краям этой зоны. В качестве этих точек используют также объекты с четкими контурами. Данные точки опознают и накалывают на каждом снимке. Накалотые точки обводят одной окружностью (рис. 7.2). На первом, втором и последних снимках маршрутной съемки находят и накалывают по одной опорной точке (характерная точка на местности – гора, мост, столб и т.д.). Опознанные точки накалывают и обозначают треугольником рис.7.1.

5. Изготавливают кальки направлений.

На снимки накладывают кальки, перекалывают на них рабочие центры, связующие, трансформированные и опорные точки. На рис. 7.2 показаны положения указанных выше точек на пяти кальках направлений, полученных для каждого снимка маршрутной фототриангуляции. Затем из рабочего центра каждого снимка проводят направления на все перекалотые точки (рис.7.2). Толщина линий направлений должна быть не более 0,2мм. Линии проводят непосредственно через наколы до края кальки.

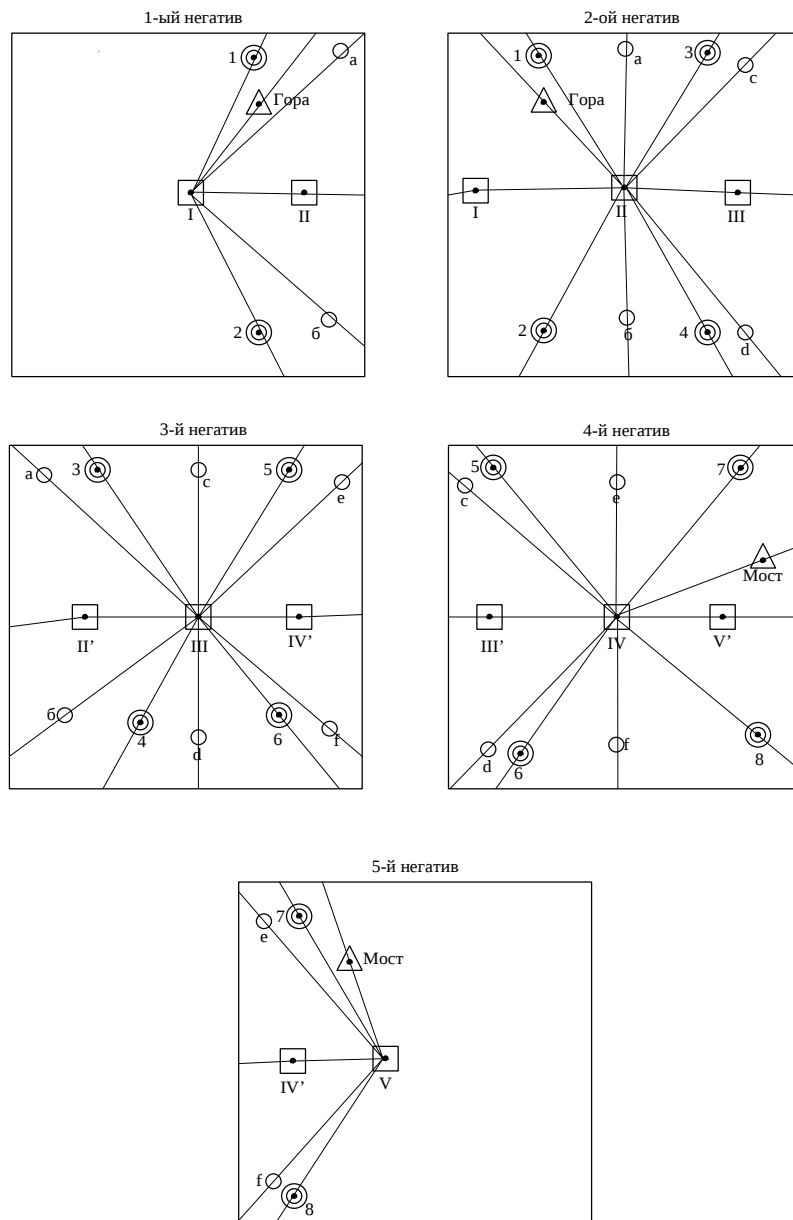


Рис. 7.2

6. Строят одномаршрутную цепь фототриангуляции.

Построение цепи целесообразно производить на светостоле. Перед построением находят базис сети  $b$ , т.е. расстояние между рабочими центрами I и II соответственно первой и второй колеи направлений. Величина базиса рассчитывается по формуле

$$b = \frac{m_{сн} \cdot b_{сн}}{m_c} \quad (7.1)$$

где  $b$  – длина базиса сети, мм;

$m_{сн}$  – масштаб снимка;

$m_c$  – требуемый масштаб сети;

$b_{сн}$  – длина базиса фотографирования, мм; (определяется по фотографическому снимку)

Направления на рабочие центры смежных негативов называют начальным. Калька направления 1-го негатива накладывается на кальку 2-го таким образом, чтобы направления I–II 1-го негатива и II–I 2-го точно совпали, а расстояние между рабочими центрами равнялись вычисленному значению  $b$ . Затем берут кальку направлений третьего снимка, накладывают на вторую точно совмещают направления II–III и III–II. При данной установке, не сбивая ориентирования, 3-я калька перемещается вдоль начального направления II–III до тех пор, пока направление

III – а не совместится со связующей точкой *a* (рис. 7.3). При этом в другой связующей точке *b* может возникнуть невязка в виде треугольника погрешности, допустимая величина стороны которого должна быть не более 0,6мм. Распределение невязки осуществляют поровну в точках *a* и *b* путем точного перемещения 3-й кальки направлений вдоль начального направления II –III до момента уменьшения этих треугольников вдвое. После этого кальки закрепляют грузиками, не нарушая их ориентировки. Измеряются длины треугольника погрешностей и сравниваются с допустимыми.

После этого накладывают 4-ю кальку направлений и добиваются аналогичного результата на другой паре связующих точек *c*, *d* (рис. 7.2), накладывают 5-ю кальку направлений и производят аналогичные операции.

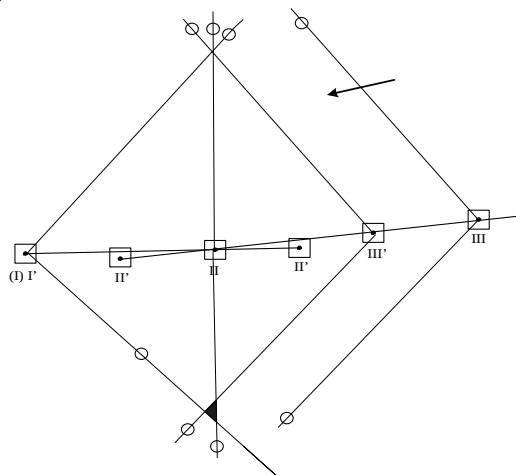


Рис. 7.3

Затем на все пять калек направлений накладывают одну кальку, размеры которой равны длине и ширине полученной цепи фототриангуляции. На эту кальку перекальвают точки пересечения направлений из рабочего центра на трансформированные точки (рис. 7.4) и опорные точки с 1-й и 5-й калек направлений. В результате получают положение 4 трансформационных точек (рис. 7.5) и 2 опорных в некотором произвольном масштабе.

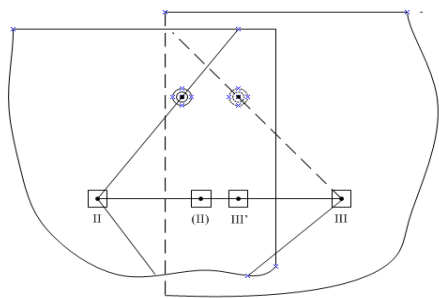


Рис. 7.4

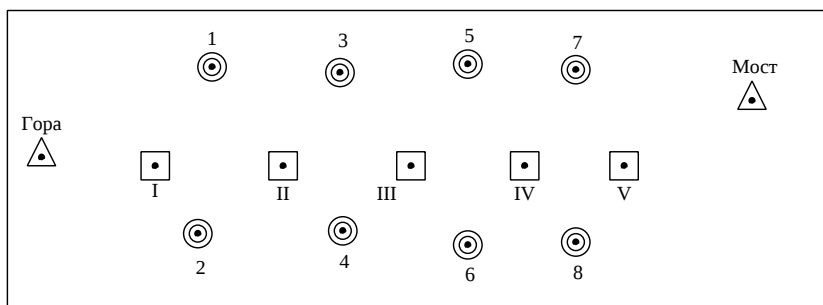


Рис. 7.5

7. Находят коэффициент редуцирования сети ( $k_p$ ) по формуле

$$k_p = \frac{m_{CH}}{m_c} \quad (7.2)$$

где:  $m_{CH}$  – масштаб снимка,

$m_c$  - требуемый масштаб редуцирования.

8. Находят ожидаемую среднюю квадратическую погрешность (с.к.п.) положения трансформированных точек по формуле Г.П. Жукова

$$m = 0.35 * k_p * b_{CH} * \mu / \rho * \sqrt{n3} \quad (7.3)$$

где:  $k_p$  – коэффициент редуцирования

$b_{CH}$  – величина базиса фотографирования на аэроснимке, мм

$\mu$  - погрешность графического проведения направлений, 5

$n$  – число базисов в цепи

$\rho$  - 206265"

После всех графических построений оформляют сделанную работу должным образом. Оформленная работа должна содержать:

5. Пять фотоснимков
6. Пять калек направлений
7. Фототриангуляционную ромбическую сеть (сводная калька)
8. Пояснительную записку по выполнению работ с указанием точек, взятых в качестве рабочих центров, трансформационных связующих, а также остаточной величины треугольника погрешностей.

### 7.3 Аналитический способ построения маршрутной фототриангуляции.

Существует несколько аналитических способов построения маршрутной фототриангуляции. Рассмотрим те, что были предложены в свое время, Советскими фотограмметристами, и хорошо раскрывают суть дела. Речь идет о способах частично зависимых моделей, независимых моделей и связок.

Сущность способа частично зависимых моделей в том, что вначале строится модель по первой стереопаре. За начало фотограмметрической системы координат принимается центр проекции левого снимка. Его угловые элементы внешнего ориентирования и базис фотографирования устанавливаются произвольно. Затем строится модель по второй стереопаре. Но за угловые элементы внешнего ориентирования ее левого снимка принимаются величины, которые характеризуют его положение относительно фотограмметрической системы координат используемой для построения первой модели. Так поступают с третьей и всеми последующими моделями. Зависимость в результате состоит в том, что оси фотограмметрических координат всех моделей оказываются взаимно параллельными.

В способе независимых моделей модели независимы между собой. Для их построения выбирают базисы произвольной длины, измеряют координаты соответственных точек, включенных в сеть, вычисляют элементы взаимного ориентирования в базисной системе координат и трансформируют снимки относительно плоскости, перпендикулярной к главной базисной плоскости левого снимка. В результате координаты точек модели можно вычислять по формулам нормального случая съемки. Как видим, данный вариант не требует вычисления элементов внешнего ориентирования снимков. Для построения общей для всего маршрута модели выполняют операцию внешнего ориентирования второй модели по отношению к первой, третьей по отношению к первым двум и т.д. Затем выполняют внешнее ориентирование общей модели.

В способе связок для каждой точки, включенной в фотограмметрическую сеть, составляются два уравнения коллинеарности, связывающие ее фотокоординаты  $x$  и  $y$  с пространственными координатами  $X, Y, Z$  соответствующей точки местности. Каждое из уравнений содержит 6 неизвестных, если они составлены для опознака (неизвестными являются элементы внешнего ориентирования снимка), и 9 неизвестных для точки, пространственные координаты которой подлежат определению. Фотокоординаты точек измеряют на всех снимках маршрута, после чего приступают к вычислению искомым координат, действуя в последовательности (которая уже неоднократно обсуждалась):

Выбирают приближенные значения элементов внешнего ориентирования и искомым координат; Их находят, используя материалы аэрофотосъемки, старые карты, фотопланы и другие источники.

- Подставляют выбранные величины в уравнения коллинеарности. В результате получают фотокоординаты  $x_6, y_6$ , которые не будут равны измеренным и из-за погрешностей измерений и из-за неточности принятых приближенных величин.

- Составляют уравнения поправок, коэффициенты которых будут частными производными фотокоординат по

соответствующим неизвестным. Разности между вычисленными и измеренными фотокоординатами – их свободные члены. Перед вычислением свободных членов в измеренные координаты вводят поправки за влияние различных факторов. Если  $m$  – число точек в сети,  $n$  – число снимков и  $k$  – число определяемых точек, то получим  $2m$  уравнений, с  $6n+k$  неизвестными.

- Составляют и решают нормальные уравнения, и полученные в результате поправки вводят в принятые значения неизвестных величин, то есть получают второе приближение.

- Используя исправленные значения, опять составляют уравнения поправок, затем нормальные уравнения и решают их. Таким образом, задача определения координат точек сгущения решается методом итераций, которые прерываются, либо в случае, когда очередные поправки окажутся пренебрежимо малы, либо по установленному максимальному числу итераций, если решение оказывается некорректным и нужно искать ошибки в исходных данных.

Этот способ дает возможность при построении сети использовать зафиксированные в полете элементы внешнего ориентирования (GPS определения, показания статоскопа, радиовысотомера и т.д.). Уравнивание, в этом случае, выполняют с учетом весов всех измеренных величин. Следует заметить, что он в настоящее время и наиболее популярен, так как практически нет ограничений на использование памяти ЭВМ, что ранее было серьезной проблемой.

## ГЛАВА 8 СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ, ИЗМЕРЕНИЕ СНИМКОВ И МОДЕЛИ.

### 8.1 Основы стереоскопического зрения.

Как показывают предыдущие разделы, для достижения основной цели - определения координат точек местности по фотоснимкам, нужно их измерять. Из данных природой человеку органов чувств, особое значение для этого имеет зрение. Обеспечивается оно системой глаз – мозг.

Глаз человека это сложное и совершенное оптическое устройство (рис. 8.1). Он имеет форму, приближающуюся к шару с радиусом около 12 мм; его поверхность состоит из трёх оболочек. Наружная защитная оболочка глаза (**склера**) 1 в передней своей части переходит в тонкую и прозрачную **роговицу** 10. Под склерой находится **сосудистая оболочка** 2, переходящая в непрозрачную **радужную оболочку** 9. Она имеет красящие вещества (**пигменты**), определяющие цвет глаз.

Рис.8.1

Спереди радужной оболочки находится **зрачок** 11 (отверстие с изменяющимся в пределах 2-8 мм диаметром). Он играет роль диафрагмы и регулирует количество поступающих в глаз световых лучей. Третья

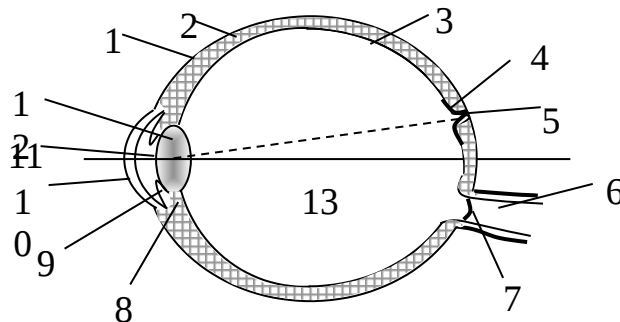


Рис. 46 Схема устройство глаза

(внутренняя) оболочка 3 называется **сетчаткой** и состоит из **фоторецепторов** - большого числа светочувствительных элементов (**колбочек** и **палочек**), передающих своё раздражение через нервную систему в мозг наблюдателя. Палочки чувствительны к слабому сумеречному освещению, колбочки – к дневному, яркому свету и обладают цветочувствительностью. Место вхождения зрительного нерва в сетчатку носит название **слепого пятна** 7, так как оно не имеет колбочек и палочек, а, следовательно, и не реагирует на световое раздражение. В середине сетчатки напротив зрачка находится **жёлтое пятно** 4, являющееся наиболее чувствительной частью сетчатки. Центральное углубление жёлтого пятна 5 состоит из одних колбочек. Диаметр впадины жёлтого пятна составляет примерно 0,4 мм, диаметр колбочки приблизительно 2 мкм.

Спереди глаза за зрачком расположен **хрусталик** 12, представляющий собой двояковыпуклую линзу. Он строит на сетчатке действительное, уменьшенное и обратное изображение наблюдаемого объекта. Таким образом, его назначение аналогично объективу фотоаппарата. Сетчатка играет такую же роль, что и матрица ПЗС.

Резкость изображения на сетчатке достигается посредством аккомодации хрусталика (изменение его кривизны, происходящее рефлекторно). Чем ближе находится рассматриваемый предмет, тем большей должна быть кривизна поверхности хрусталика. Осуществляют аккомодацию глазные мышцы 8. Они не напряжены, если рассматриваемый объект находится в бесконечности (более 10 м). При этом фокусное расстояние хрусталика равно приблизительно 16 мм. Но при наблюдении на таком расстоянии упускаются мелкие детали. Оптимально, когда и детали видны и мышцы не очень напряжены. Такие условия для нормального глаза выполняются на расстоянии наилучшего зрения (около 25 см).

Пространство между роговицей и хрусталиком наполнено «водянистой влагой», а между хрусталиком и сетчаткой – «стекловидной влагой» 13, Их коэффициенты преломления примерно равны между собой.

Луч, проходящий через центр впадины жёлтого пятна и заднюю узловую точку оптической системы глаза, называется зрительной осью глаза, а прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей роговицы и хрусталика – его оптической осью. Угол между этими осями равен  $5^\circ$ .

Поле зрения неподвижного глаза составляет  $150^\circ$  по горизонтали и  $120^\circ$  по вертикали. В его разных частях изображение воспринимается с различной чёткостью. Лучше видны те предметы, которые попадают на центральную ямку сетчатки.

Угол, под которым виден диаметр центральной ямки жёлтого пятна из узловой точки хрусталика, называется **углом отчётливого зрения**. Он равен  $1,5^\circ$ . Раздражение светом палочек и колбочек вызывает зрительное ощущение, если длина электромагнитных волн находится в пределах 360 – 760 нм. Максимальная чувствительность к желтой части спектра, примерно 555 нм.

Существует статистическая и динамическая теории зрения. В соответствии с динамической теорией большую роль при рассматривании предметов играют движения глаз. Они бывают произвольными (зависят от воли человека) и непроизвольными (физиологические нистагмы). *Непроизвольные движения включают:*

- Дрожь – колебание глаз со скоростью  $20'$  в секунду с амплитудой  $10-20''$ ;
- Колебания – быстрые вращения со скоростью примерно  $6000'$  в секунду с амплитудой  $1 - 25'$ . Происходят не регулярно с интервалами  $0.05 - 5$  сек.;
- Медленные движения со скоростью  $1'$  в секунду с амплитудой до  $5'$ .

Непроизвольными движениями глаз сканирует изображение, построенное хрусталиком.

Различают два вида зрения: монокулярное и бинокулярное.

Зрение одним глазом называется **монокулярным зрением**. Наблюдатель обычно подсознательно поворачивает глаз так, чтобы изображение объекта оказалось на углублении жёлтого пятна. Пересечение зрительной оси глаза с рассматриваемым объектом называется точкой фиксации  $F$  монокулярного зрения. Для оптических наблюдений и измерений важную роль играет острота зрения, т.е. способность невооружённого глаза воспринимать две расположенные рядом точки или линии как разные элементы. Минимальный угол, под которым наблюдатель ещё видит раздельно две светящиеся точки, называется **остротой монокулярного зрения первого рода**. Для нормального глаза этот угол равен примерно  $45''$ . Но он зависит от многих факторов (дифракция, aberrации, освещение, тип тест объекта, длина волны и т.д.) и колеблется в пределах  $0.5'' - 10''$ .

**Остротой монокулярного зрения второго рода** называется минимальный угол, под которым человеческий глаз видит раздельно две параллельные линии. Она выше, чем острота монокулярного зрения первого рода и примерно равна  $20''$ . Это объясняется тем, что изображение линий воспринимается не одной, а целой группой колбочек.

Существует понятие стереоскопического (пространственного) восприятия объектов. Оно может быть монокулярным и бинокулярным.

При **монокулярном зрении** об удалённости наблюдаемых предметов можно судить только по косвенным признакам (относительный размер предметов, свет и тени, перекрытия, перспектива, визуальные контрасты, параллакс движений, детальность изображений и т.д.). Указанные признаки оценки пространственной глубины при монокулярном зрении дают приближённое, а иногда неверное представление о расстояниях.

Стереоскопическое зрение это пространственное восприятие, возникающее при рассматривании объекта двумя глазами. Такое наблюдение называется **бинокулярным зрением**. В этом случае наблюдатель устанавливает глаза таким образом, чтобы изображение объекта оказалось в центральных ямках  $f_1$  и  $f_2$  сетчаток обоих глаз (рис. 8.2). Поэтому зрительные оси глаз пересекаются в том месте объекта, которое наблюдатель желает отчётливо рассмотреть. Точка пересечения зрительных осей называется **точкой фиксации  $F$**  бинокулярного зрения.

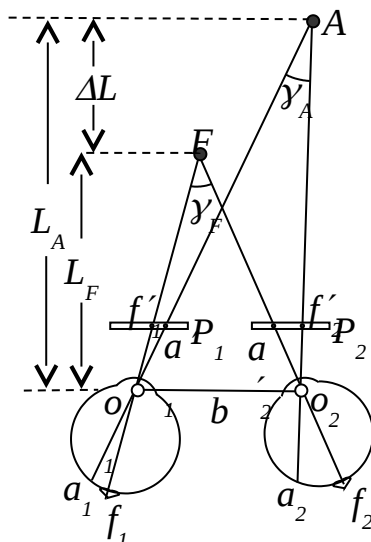


Рис.8.2 Бинокулярное



Расстояние  $b$  между центрами хрусталиков левого и правого глаз это глазной базис. Он у людей разный и колеблется в пределах от 55 до 72 мм.

Угол  $\mathcal{Y}_F$ , под которым пересекаются зрительные оси, называется **углом конвергенции** (сходимости).

Величина угла конвергенции зависит от отстояния  $L$  точки  $F$ . Эта зависимость выражается приближённым уравнением:

$$\mathcal{Y}_F = b/L, \quad (8.1)$$

Размеры жёлтого пятна позволяют увидеть при данном положении глаз и другие точки (рис. 8.2). Изображения  $a_1$  и  $a_2$  точки  $A$  объекта, полученные на сетчатках глаз, называются соответственными точками, а лучи  $O_1 a_1$  и  $O_2 a_2$  – соответственными лучами. Угол  $\mathcal{Y}_A$ , под которым пересекаются соответственные лучи, называется параллактическим углом.

Неравенство углов  $\mathcal{Y}_F$  и  $\mathcal{Y}_A$  вызывает неравенство дуг  $\cup f_1 a_1$  и  $\cup f_2 a_2$ , полученных в пределах жёлтого пятна левого и правого глаз. Алгебраическая их разность называется **физиологическим параллаксом** и обозначается  $p$ , т.е.:

$$p = \cup f_1 a_1 - \cup f_2 a_2 \quad (8.2)$$

Дуга считается положительной, если она находится слева от центральной ямки. Наличие физиологического параллакса является причиной пространственного восприятия при стереоскопическом зрении.

Абсолютная величина угла конвергенции ощущается при этом с невысокой точностью, поэтому и отстояние наблюдаемой точки определяется приближённо. В то же время изменения величин параллактических углов относительно угла конвергенции воспринимаются с высокой точностью. Это обстоятельство позволяет определить изменения отстояний других точек относительно точки фиксации также с высокой точностью. Установлено, что разность отстояний воспринимается человеком, когда  $\delta\mathcal{Y} = |\mathcal{Y}_F - \mathcal{Y}| \leq 70'$ . Если это условие не выполняется, то он меняет точку фиксации.

Для определения соотношения между изменениями расстояния и угла конвергенции в соответствии с (11) запишем:

$$\Delta L = -b\Delta\mathcal{Y}/\mathcal{Y}^2 = -L^2\Delta\mathcal{Y}/b \quad (8.3)$$

Существует понятие **гороптер**. Это геометрическое место точек в пространстве, которые, при заданном положении точки фиксации, дают изображение на симметричных точках фиксации. Для всех остальных точек, в указанных выше пределах и возникает физиологический параллакс.

Наименьшее значение  $\Delta\mathcal{Y}$  (или физиологического параллакса  $p$ ), при котором ещё ощущается разность расстояний  $\Delta L$ , называют остротой или **разрешающей способностью стереоскопического зрения**.

**Острота стереоскопического зрения первого рода** – это минимальная разность параллактических углов двух точек, при которой ещё воспринимается разность отстояний. Она примерно равна  $30''$ .

**Острота стереоскопического зрения второго рода** – это минимальная разность параллактических углов для двух вертикальных прямых, при которой ещё замечается разность их отстояний. Она равна  $10''$ . Эти характеристики меняются в зависимости от индивидуальных особенностей наблюдателя, а так же от условий наблюдения – освещённости, контрастности объектов, их формы и т.п.

Используя понятие остроты стереоскопического зрения, по формуле (11) можно определить **радиус  $R$  невооруженного бинокулярного зрения**. Так, приняв  $\mathcal{Y}_F = 30''$  и  $b = 65$  мм, получим:  $R = (65 \text{ мм} \cdot 200\,000'')/30'' = 430$  м. Если для наблюдения объектов использовать бинокли или стереотрубы, у которых искусственно увеличен глазной базис (обозначим его буквой  $B$ ), и использованы оптические системы увеличения, возрастает и радиус стереоскопического зрения в  $\omega = (BV)/b$  раз, Величину  $\omega$  называют **коэффициентом пластичности** прибора.

## 8.2 Стереоскопический эффект, простейшие стереоприборы.

Пространственное восприятие можно получить не только при непосредственном рассматривании объекта в натуре, но и при рассматривании стереопары снимков этого объекта.

Представим себе, что с точек  $S_1$  и  $S_2$  сделаны два снимка  $P_1$  и  $P_2$  рассматриваемого объекта (точки  $F$  и  $A$ , рис. 21) Поставим эти снимки перед глазами наблюдателя так, чтобы проектирующие лучи проходили через изображения соответственных точек на снимках (точки  $a'_1, a'_2$  и  $f'_1, f'_2$ ). При рассматривании каждого снимка (левого  $P_1$  – левым глазом, а правого  $P_2$  – правым) изображения точек объекта получаются в тех же точках сетчаток, что и при рассматривании самого объекта, и вследствие разностей физиологических параллаксов возникает впечатление объёмного изображения.

Пространственное восприятие объекта при бинокулярном рассматривании пары снимков, полученных с разных точек пространства, называется **стереоскопическим эффектом**, а воспринимаемая при этом мнимая картина – **стереоскопической моделью**.

Для получения стереоэффекта, кроме названных выше условий необходимо, чтобы:

1. Разность масштабов снимков стереопары не превышала 16 %.
2. Каждым глазом наблюдался только один из снимков.
3. Угол, под которым пересекаются соответственные лучи, не превышал  $16^\circ$ .
4. Положение снимков было согласовано с глазным базисом. В первом приближении это осуществляется расположением снимков на линии, параллельной главному базису.

При рассматривании пары снимков можно получить прямой, обратный или нулевой стереоэффекты (рис. 8.3). Стереоскопический эффект получается **прямым** (естественное восприятие пространства), если снимки расположить перекрываем внутри; **обратным** (**обратное** восприятие выпуклых и вогнутых форм), если их расположить перекрываем в разные стороны.

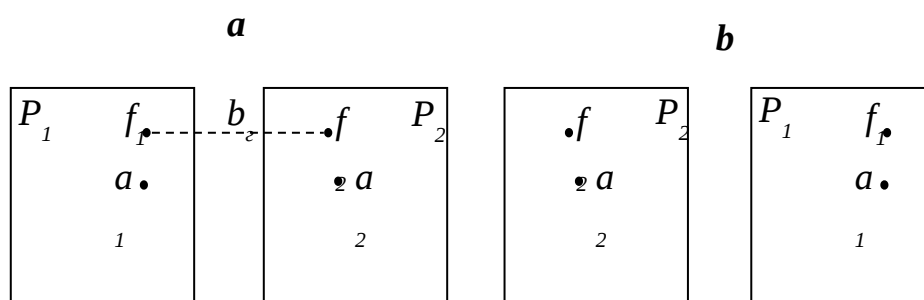


Рис. 8.3. Схемы расположения снимков для получения **a** – прямого стереоэффекта, **b** - обратного

Если снимки повернуть на  $90^\circ$  в разные стороны, то возникает **нулевой стереоэффект**, при котором рассматриваемый объект воспринимается плоским.

Для обеспечения второго условия получения стереоэффекта используют: анаглифический, поляроидный, миганий, растровый, оптический и другие способы.

В способе **анаглифов** и левое изображение и правое проецируют на один экран через светофильтры красный и зеленый (синий). Полученная картина рассматривается через анаглифические (красно-зеленые) очки. В результате каждый глаз видит только одно изображение, а при их слиянии возникает стереоэффект в серо-белых тонах.

В способе **поляроидов** используют не цветные, а поляроидные светофильтры с углом поляризации между ними  $90^\circ$ . Через них рассматривают проецируемые на экран поляризованные с таким же углом изображения. В отличие от анаглифического способа, поляроидный может использоваться для наблюдения цветных снимков, поэтому используется в кинематографии.

В способе миганий снимки проецируются на экран поочередно с помощью, например, вращающихся перед объективами бленд. Такие же бленды установлены перед глазами наблюдателя. Частота вращения обеих пар бленд синхронизирована и составляет не менее 10 миганий в секунду. Таким образом, наблюдатель непрерывно видит левым глазом только левое изображение, а правым – только правое. Способ используется для получения объемной картины и на экране монитора.

При растровом способе два снимка проектируются на экран, составленный из линз цилиндрической формы. Оптические лучи, несущие изображения разных снимков, отражаясь противоположными гранями линз экрана, попадают в разные глаза наблюдателя.

**Оптический способ** основан на разделении зрения с помощью оптических систем. Этот способ имеет широкое применение в фотограмметрии. Простейшими оптическими приборами, позволяющими получить пространственное изображение сфотографированного объекта, являются стереоскопы.

Имеются линзовые стереоскопы, которые предназначены для рассматривания малоформатных снимков (6х6 см). Для работы с аэрофотоснимками, как в полевых, так и в камеральных условиях, используют зеркальные стереоскопы с бинокулярной насадкой или линзово-зеркальные стереоскопы.

Линзово-зеркальный стереоскоп ЛЗ (Рис. 8.4) имеет две пары зеркал 1, 2 и 1', 2', установленных под углом  $45^\circ$  к плоскости горизонтально расположенных снимков; и две линзы 3 и 3'. Пунктиром на рисунке показан ход центральных лучей,  $O_1$  и  $O_2$  – узловые точки глаз (центры хрусталиков). Расстояния от центров линз 3 и 3' до

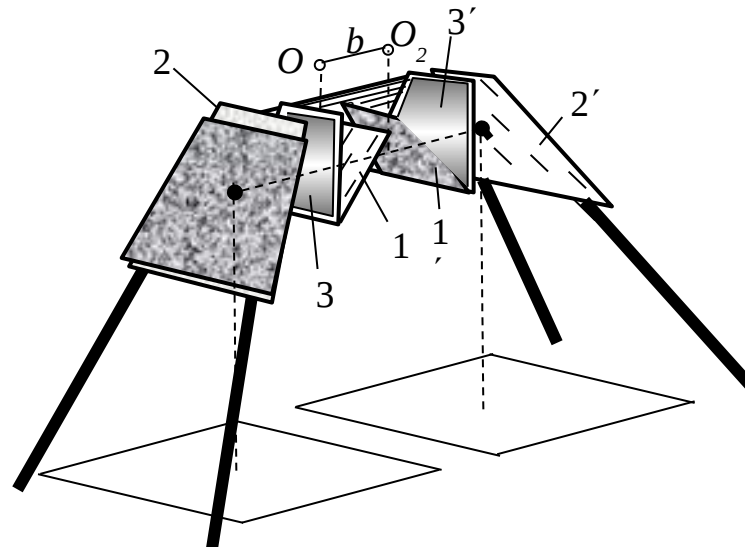


Рис. 8.4. Линзово-зеркальный стереоскоп

снимков по ходу центральных лучей называются главными расстояниями стереоскопа, а отрезок между центрами больших зеркал 2 и 2' - базисом стереоскопа  $d$ . Если считать, что расстояние наилучшего зрения равно 250 мм, то увеличение стереоскопа  $V=250/d$ . Для получения стереокартины снимки следует устанавливать так, чтобы расстояние между соответственными точками примерно равнялось длине базиса стереоскопа, а отрезки между парой соответственных точек располагались на одной прямой параллельной его направлению. В зависимости от расположения снимков стереоэффект будет прямой, обратный или нулевой.

Стереоскопическое измерение снимков можно выполнять **способами действительной и мнимой марки**. Первый из них - уже практически история. Он применялся при монокулярном измерении снимков, а также при измерении модели, построенной по паре снимков с помощью поляридов и анаглифов в некоторых проекционных приборах (мультиплексе, двойном проекторе и т.д.).

**Способ мнимой марки** предложен в 1899 г. Пульфрихом и используется для измерения координат точек пары снимков и модели. Суть его состоит в следующем. В плоскости изображений (снимков) располагают две действительные марки  $m_1$  и  $m_2$  (на рис. 50 показаны крестиками). При их рассматривании под стереоскопом в одну объемную картину сливаются не только изображения снимков, но и марок, то есть наблюдатель видит одну пространственную мнимую марку  $M$ . Но это произойдет только в случае, когда каждая из марок  $m_1$  и  $m_2$  будет расположена вблизи соответственных точек (например,  $a_1$  и  $a_2$ ). Причем, небольшое взаимное перемещение действительных марок (или снимков относительно марок) вдоль оси  $x$  вызовет перемещение мнимой марки по глубине. В результате она будет казаться либо «висящей в воздухе», либо «утопленной в землю». В последнем случае мнимая марка раздваивается, что дает возможность оценить поперечный параллакс. Когда действительные марки точно совмещены с соответственными точками (например,  $a_1$  и  $a_2$ ), создается впечатление касания мнимой марки поверхности стереомодели в точке А. Для того, чтобы этого добиться, стереоприбор должен обеспечивать совместное движение снимков (действительных марок) вдоль осей  $x$  и  $y$ , а также независимое движение одного из снимков (одной из марок), вдоль этих же осей. При наличии соответствующих шкал на таком приборе можно измерять параллаксы.

Рис. 8.5 Паралаксметр

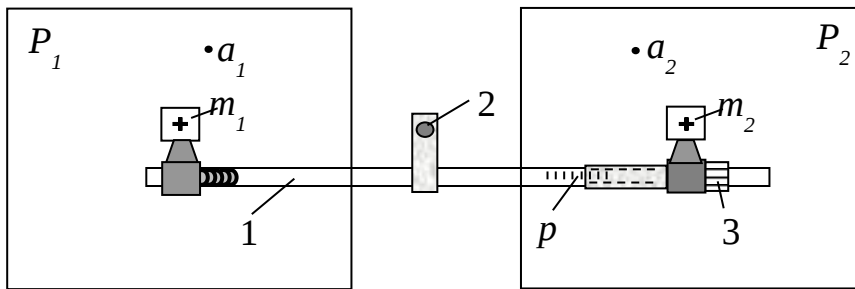


Рис. 51. Параллаксометр

Наиболее простым прибором для измерения только продольных параллаксов  $p$  точек, является параллаксометр. Его принципиальная схема представлена на рисунке 8.5. На общем металлическом стержне 1 расположены две стеклянные пластинки с марками  $m_1$  и  $m_2$  и фиксатор 2. Марка  $m_2$  при вращении барабанчика 3 перемещается вдоль стержня. Величину перемещения можно отсчитать: целые миллиметра - по шкале  $p$  на стержне, десятые и сотые доли - по барабанчику 3. Фиксатор 2 служит для накалывания наблюдаемых точек на основу (план).

Прибором для измерения фотокоординат, продольного и поперечного параллаксов является стереокомпаратор (Рис. 8.6). Их конструкции различны (например, СК-2, или стереокомпаратор 1818 фирмы «Цейсс»), но принципиальные схемы одинаковы. Основными частями любого стереокомпаратора являются:

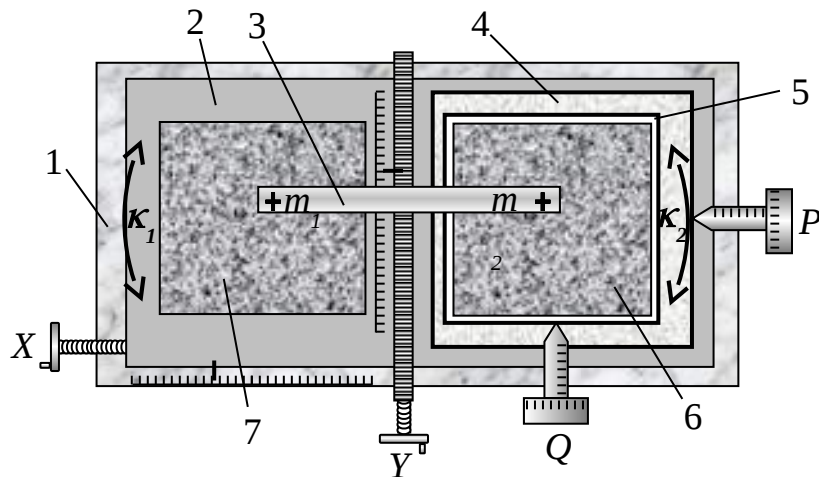


Рис. 8.6 Схема стереокомпаратора

- Станина 1 с двумя взаимно перпендикулярными направляющими  $X$  и  $Y$  (при измерении наземных снимков –  $Z$ );
- Основная каретка 2, перемещается вдоль направляющей  $X$  при вращении штурвала  $X$ . Величину перемещения можно определить по шкале  $X$ ;
- Бинокулярная система 3 с марками  $m_1$  и  $m_2$ , перемещается вдоль направляющей  $Y$  при вращении штурвала  $Y$ . Отсчет можно взять по шкале  $Y$ ;
- Каретка продольных параллаксов 4 с винтом  $P$ , при вращении которого она перемещается вдоль оси  $X$  и который имеет шкалу для определения величины перемещения;
- Каретка поперечных параллаксов 5. При вращении винта  $Q$  она перемещается вдоль оси  $Y$ , и по его шкале можно оценить величину перемещения;
- Снимкодержатели 6 и 7. Их можно вращать в своей плоскости винтами  $\kappa_1$  и  $\kappa_2$

У стереокомпаратора есть осветительная система, и регулировки, обеспечивающие настройку бинокулярной системы по главному базису, по глазу и по предмету. Формы измерительных марок различны, но на рис. 8.7 стрелочками показано, какую их часть целесообразно использовать для точного наведения на измеряемую точку.

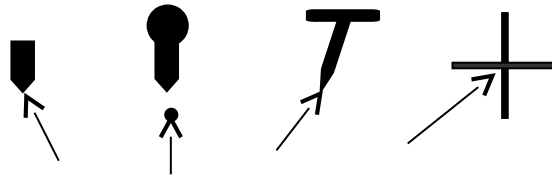


Рис. 8.7. Формы некоторых измерительных марок

Отметим, что марки бывают светящиеся (в основном круглые) и несветящиеся. Несветящиеся марки имеют чёрный цвет, и на тёмных участках снимков измерения затрудняются. В большинстве приборов устанавливаются светящиеся марки. Цвет марки задаётся с помощью сменных фильтров – зелёный, красный, белый и т.д.

Процесс обработки снимков на стереокомпараторе включает: установку снимков в снимкодержателях, их ориентирование, определение мест нулей шкал прибора и непосредственно измерения. Следует помнить, что негативы устанавливаются эмульсией вниз, а диапозитивы – эмульсией вверх.

Снимок считается сориентированным, если его оси координат параллельны соответствующим направляющим стереокомпаратора (Рис. 8.8 правый снимок). В зависимости от способа введения системы координат на снимках, ориентирование выполняют по координатным меткам (основной вариант), тогда этот процесс независим для левого и правого снимков или по начальным направлениям. В первом случае действуют в такой последовательности:

1. Штурвалами  $X$  и  $Y$ , измерительную марку совмещают с координатной меткой 1;

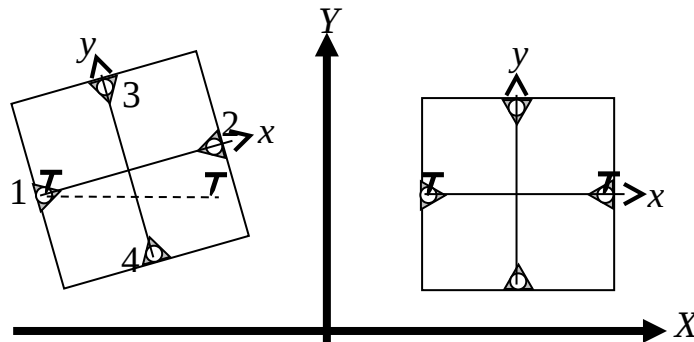


Рис. 8.8 Ориентирование снимков по координатным меткам

2. Штурвалом  $X$  марку перемещают по направлению к координатной метке 2. Если она точно проходит через метку, значит снимок (правый на рис. 54) сориентирован.
3. Если марка оказалась выше или ниже, ее устанавливают на координатную метку 2, при этом половину перемещения осуществляют винтом  $k$ , а половину штурвалом  $Y$ .
4. Операцию ориентирования выполняют методом последовательных приближений.

При ориентировании правого снимка диапазон перемещения каретки по оси  $X$  может оказаться недостаточным, в таком случае действуют и винтом продольных параллаксов  $P$ . Допустимо также использовать винт поперечных параллаксов вместо штурвала  $Y$ . И, наконец, заметим, что иногда снимок ориентируют и по вертикальным меткам, если, например, качество их изображений выше, чем качество изображений меток 1 и 2.

После ориентирования приступают к процессу измерения снимков. Он состоит в том, что штурвалами  $X$  и  $Y$  совмещают измерительную марку с выбранной на левом снимке точкой  $a_1$ , а винтами  $P$  и  $Q$ , правую марку, совмещают с соответственной ей точкой  $a_2$ . Указанные операции являются монокулярными и в принципе, после их выполнения, можно брать отсчеты по шкалам стереокомпаратора. Но если рассматривать снимки двумя глазами возникнет стереоэффект, будет наблюдаться одна пространственная марка и точность наведения можно повысить, для чего:

1. Вращением винта  $P$  пространственную марку «утапливают» и она раздваивается. В результате в плоскости изображения наблюдается одна из картин (рис 8.9). На картинках  $a$  и  $b$  марки расположены на разной высоте (говорят, что наблюдается поперечный параллакс). Выполнять точные пространственные измерения в этом случае трудно и параллакс стараются устранить.

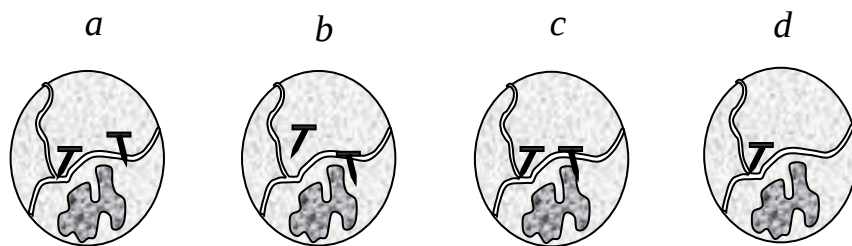


Рис. 8.9. Устранение поперечного параллакса

61

2. Вращением винта поперечных параллаксов устраняют поперечный параллакс (картинка с).
3. Винтом продольных параллаксов приподнимают марку над точкой, а затем, вращая его в противоположном направлении, совмещают марку с точкой (картинка d), после чего и берут отсчеты по шкалам стереокомпаратора.

## Глава 9 ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ

### 9.1 Общие положения

Трансформирование снимка в широком смысле это целенаправленное изменение его геометрических свойств с целью преобразования в заданную проекцию. Каждое преобразование изменяет одни геометрические свойства исходного изображения и сохраняет другие. Те свойства, которые не изменяются, называются инвариантами относительно данного геометрического преобразования.

В фотограмметрии чаще всего используются перспективное и аффинное преобразования, ортофототрансформирование и масштабирование.

Трансформированным называется снимок, полученный путем перспективного преобразования наклонного снимка и имеющий допустимые величины смещений точек от их горизонтальной проекции. Отметим, что оно не меняет проекции. Трансформированный снимок построен по законам центральной проекции. Поэтому искажения за рельеф остаются. Доводят их до допустимых значений путем соответствующего выбора плоскости трансформирования, относительно которой превышения точек местности не превосходят установленных значений. Если же местность холмистая, снимок трансформируют по частям (зонам), выбирая для каждой зоны свою плоскость трансформирования. При числе зон больше 3 возникают трудности в процессе составления фотоплана, поэтому вместо перспективного трансформирования применяют ортофототрансформирование.

Ортофотоснимок построен в ортогональной проекции, то есть при ортофототрансформировании происходит переход от центральной проекции исходного снимка к ортогональной проекции снимка, полученного после трансформирования. Искажений за рельеф у таких снимков нет. Но выполнить ортофототрансформирование можно только после построения геометрической модели местности по паре снимков.

Перспективное трансформирование может быть выполнено различными способами: графическим, оптико-графическим, фотомеханическим, аналитическим и т.д.

При трансформировании снимков выполняется редуцирование сети на снимках. Редуцирование – это приведение сетей фототриангуляции к заданному масштабу. На выполняют данное приведение с помощью оптических редукторов различной конструкции. В качестве оптического редуктора используют малый, либо большой фототрансформаторы ФТМ и ФТБ.

Трансформирование снимка в широком смысле это целенаправленное изменение его геометрических свойств с целью преобразования в заданную проекцию. Каждое преобразование изменяет одни геометрические свойства исходного изображения и сохраняет другие. Те свойства, которые не изменяются, называются инвариантами относительно данного геометрического преобразования.

В фотограмметрии чаще всего используются перспективное и аффинное преобразования, ортофототрансформирование и масштабирование.

### 9.2 Перспективное трансформирование

Перспективное трансформирование может быть выполнено различными способами: графическим, оптико-графическим, фотомеханическим, аналитическим и т.д. В фотограмметрии наибольшее применение получили два последних.

Теоретическим обоснованием аналитического способа являются формулы трансформирования (9.1)

$$\begin{aligned} x^0 &= -f \frac{x a_1 + y a_2 + z a_3}{x c_1 + y c_2 + z c_3}, \\ y^0 &= -f \frac{x b_1 + y b_2 + z b_3}{x c_1 + y c_2 + z c_3}. \end{aligned} \quad (9.1).$$

Где  $-a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$  элементы внешнего ориентирования снимка

Для вычисления по ним необходимо выполнить измерения координат  $x$  и  $y$  точек, трансформированные координаты которых требуется получить, и знать элементы внешнего ориентирования наклонного снимка. Точное их значение обычно неизвестно, поэтому трансформируют по опорным точкам (опознакам). Для определения минимального числа опознаков, воспользуемся уравнениями коллинеарности (матем. Расположение вектора на одной прямой или параллельных прямых с другими векторами)

$$r_x = r_z \frac{R_x}{R_z}, \quad r_y = r_z \frac{R_y}{R_z}. \quad (9.2).$$

Где  $r$  и  $R$  векторы равенства на координатные оси  $x, y, z$ .

При этом примем координаты центра проекции равными нулю и разделим числители и знаменатели правых частей на  $-c_3 f$ , в результате получим:

$$\begin{aligned} X &= \frac{A_1(x - x_0) + A_2(y - y_0) + A_3 f}{C_1(x - x_0) - C_2(y - y_0) + 1}, \\ Y &= \frac{B_1(x - x_0) - B_2(y - y_0) + B_3 f}{C_1(x - x_0) - C_2(y - y_0) + 1}, \end{aligned} \quad (9.3)$$

где, например,  $A_1 = H a_1 / c_3 f$ ,  $B_1 = H b_1 / c_3 f$ , и т.д.

Если координаты опознаков, координаты их изображений на снимке и элементы внутреннего ориентирования снимка известны, то неизвестными в уравнениях являются восемь коэффициентов. Они однозначно определяют перспективную зависимость между наклонным и горизонтальным снимками. Эти коэффициенты называют элементами трансформирования. Поскольку один опознак позволяет составить два уравнения, то для определения коэффициентов их нужно как минимум 4. Зная их можно выполнять трансформирование, используя уравнения (9.1), но для приведения трансформированного снимка к заданному масштабу все полученные координаты  $x^0$  и  $y^0$  умножают на коэффициент трансформирования  $k$ , то есть трансформированные координаты  $x_m = kx^0$ , и  $y_m = ky^0$ .

Для того, чтобы понять суть фотомеханического трансформирования (его еще называют оптико-механическим), предположим, что элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка известны. Восстановим связку проектирующих лучей и поместим ее в положение, которое она занимала в момент фотографирования, затем пересечем связку горизонтальной плоскостью  $E$  (рис. 9.1).

В результате на экране получим трансформированное изображение наклонного снимка. В соответствии с рис.9.1 его масштаб можно вычислить по формуле:

$$1/t = kf/H_0, \quad (9.4) \quad (149)$$

где  $k$  – коэффициент трансформирования,  $H_0$  – высота фотографирования над средней плоскостью участка (плоскостью

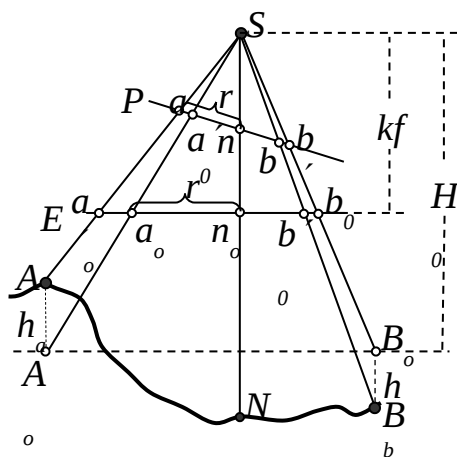


Рис. 9.1 Перспективное трансформирование

На практике, по уже известным причинам, установку связки относительно экрана выполняют по опознакам. Для этого на экран укладывают основу с, опознаками (их должно быть не менее четырех), выполненную в масштабе, который равен заданному масштабу трансформированного изображения. На снимке делают отверстия (диаметром 0.2 – 0.3 мм) в точках, где изобразились опознаки, и с помощью проектора проецируют его на экран. Затем взаимным перемещением основы и проектора добиваются, чтобы изображения спроектированных на экран отверстий совпали с соответствующими трансформационными точками на основе, после чего последнюю убирают. В результате изображение на экране будет соответствовать трансформированному снимку. Его нужно только зафиксировать, например, сфотографировать.

Отметим, что рассмотренная выше технология работает идеально при трансформировании наклонного снимка равнинной местности. Если местность холмистая, то необходимо учитывать смещения точек за рельеф. Например, в соответствии с рис. 65, при установке связки нужно добиваться, либо совмещения точек  $a'$  и  $a_0$ , либо точек  $a$  и  $a'_0$ , так как именно эти пары находятся в перспективном соответствии (расположены на одних и тех же проектирующих лучах). Значит перед процессом совмещения необходимо ввести поправки в положение всех опознаков, либо на снимке  $\delta r_c$ , либо на основе  $\delta r_o$ . Вычисляются они по формулам:

$$\delta r_c = -rh/H_0 \quad (9.5) \quad (150)$$

и 
$$\delta r_o = hr_o/(H_0-h) \quad (9.6)$$

Как правило, поправки вводят на основе, при условии, что они больше 0.3 мм. Полученные в результате точки для совмещения называют ориентирующими.

Нельзя, кроме того, забывать, что на трансформированном снимке будут смещены все точки, расположенные выше или ниже плоскости трансформирования. И если эти искажения больше допустимых, снимок следует трансформировать по частям (по зонам).

Прибор, с помощью которого реализуется, выше рассмотренная, технология перспективного трансформирования называется фототрансформатор. По существу, это усовершенствованный высокоточный фотоувеличитель. Основными частями фототрансформатора являются: направляющие, экран, кассета, объектив и источник света с параболическим отражателем. Имеется, кроме того, система винтов и устройств, обеспечивающих путем взаимного перемещения кассеты, объектива и экрана построение на экране трансформированного изображения в заданном масштабе.

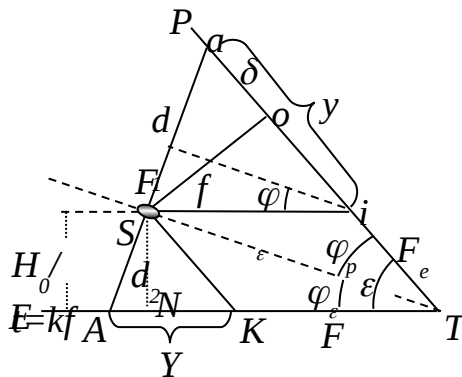


Рис. 9.2 Разрез в плоскости главного вертикала

Различают фототрансформаторы I и II рода. В фототрансформаторах I рода трансформирование выполняется при сохранении той связки проектирующих лучей, которая существовала в момент фотографирования.

Технология изменения главной оптической оси (S), но только в пределах плоскости главного вертикала реализована в фототрансформаторах II рода, которые и используются на производстве. Теперь можно сформулировать условия (геометрические и оптические), при которых на экране будет построено изображение трансформированного снимка высокого качества. Геометрические условия:

1. Центр проекции S должен располагаться в плоскости главного вертикала на окружности с центром в точке i и радиуса  $F_p = f/\sin \epsilon$ . Вертикальная плоскость W, проходящая через точки S, o, n называется *плоскостью главного вертикала*.
2. Плоскость экрана должна быть параллельна отрезку Si, а отрезок  $F_e = kf/\sin \epsilon$ .

Оптические условия:

3. Расстояния вдоль оптической оси объектива от центра проекции до снимка и экрана должны удовлетворять формуле оптического сопряжения.
4. Для достижения хорошей резкости в пределах всего трансформированного изображения необходимо, чтобы плоскости снимка, объектива и экраны пересекались по одной прямой (условие Шейпфлуга).



Заметим, что выполнение оптических условий в фототрансформаторах выполняется автоматически, с помощью специальных устройств – инверсоров. Так, выполнение первого из условий обеспечивает масштабный инверсор, а второго – перспективный.

Кроме того, нельзя не отметить, что установка снимков в кассету фототрансформатора осуществляется по координатным меткам с помощью рисок, нанесенных на стекле. Поэтому оптическая ось объектива проходит практически через главную точку. Но в соответствии с рис. 66 главная точка должна быть смещена на величину  $\delta$  (отрезок  $oa$ ). Технологией такая операция предусмотрена и называется децентрацией снимка. Таким образом, элементами трансформирования снимков следует считать угловые величины  $\varphi_p, \varphi_e, \kappa$  и линейные -  $d_1, d_2, \delta$ .

На производстве использовалось большое число самых разнообразных по конструкции фототрансформаторов, как отечественных, так и зарубежных. Наиболее популярными были: фототрансформатор большой (ФТБ), фототрансформатор малый (ФТМ), и фототрансформаторы фирмы Карл Цейсс (ГДР).

## Глава 10 ФОТОКОНТУРНАЯ СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

### 10.1 Общие сведения

Основными геометрическими параметрами горной выработки принято считать ее ширину, высоту и протяженность. Первые два параметра позволяют вычислить или определить поперечное сечение выработки. По нескольким поперечным сечениям выработки определяют среднее сечение выработки. Произведение среднего сечения выработки на длину выработки равно геометрическому объему данной выработки. При этом сравнение фактического и проектного поперечных сечений выработки контролируют как качество проходки выработки. Существует несколько способов проверки поперечных сечений выработок:

- дальномерными рейками
- отвесами перемещаемыми по шнуру вдоль стенки – борта
- полярным способом
- способом засечек
- непосредственным измерением высоты и ширины выработки

Перечисленные способы имеют ряд недостатков – низкая производительность, а главное их нельзя применять в недоступных и часто малодоступных выработках.

Для съемки малодоступных выработок применяют фотограмметрические методы съемки:

1. Короткобазисная съемка поперечных сечений выработки
2. Однокадровая фотоконтурная съемка поперечных сечений выработки

Фотоконтурный метод съемки сводится к созданию светового следа – контура на бортах, кровле и почве горной выработки в плоскости требуемого поперечного сечения выработки, фотографированию этого контура и затем измерению по фотонегативу или фотоснимку необходимых параметров сфотографированного периметра поперечного сечения выработки.

Независимо от типов горной выработки и применяемой аппаратуры фотоконтурный метод определения параметров поперечного сечения выработок включает следующие процессы маркшейдерских работ: подготовительный, фотосъемочный и камеральный. Подготовительный процесс сводится к определению и выбору поперечных сечений в выработке и положения осевой линии их фотографирования, а также выбор аппаратуры необходимой для съемки и доставка ее на место съемки. Фотосъемочный процесс, включает в себя проверку фотоаппаратуры, определение расстояния от плоскости необходимого поперечного сечения выработки до объектива фотоаппарата, установка съемочных данных и указатель дальности съемки. Камеральный процесс сводится к лабораторной химической обработке экспонированной фотопленки, трансформированию контура поперечного сечения с фотопленки на фотобумагу или специальный план поперечного сечения в масштабах 1:10, 1:50 или 1:100.

При определении координат точек поперечного сечения выработок и линий контура возникает неточность определения координат. Погрешность определения координат точек и линий контуров поперечных сечений выработок лимитируется требованиями инструкции (3) и соответствующие технологические и экономические расчеты.

Применение фотоконтурного метода съемки выработки позволяет обеспечить

#### Определение:

1. Геометрических параметров и профилей поперечных сечений выработок
2. Геометрические объемы выработок
3. Объемов потерь рудной массы во вмещающих породах
4. Разубоживание ее законтурными породами.

#### Контроль:

1. За качеством взрывных работ в процессе проведения выработок
2. За полнотой закладки выработки при системах с закладкой
3. За состоянием различных пустот в горном массиве месторождения
4. За состоянием целиков, бортов и кровли выработки

5. За креплением и бетонированием выработки.

10.2 Вычисление погрешности определения площади сечения выработки и погрешности определения объема выработки

При решении перечисленных задач, в предыдущем разделе, необходимые геометрические параметры выработки должны быть измерены с допустимой оптимальной погрешностью. По результатам фотоконтурной съемки геометрический объем горной выработки, определяют способом параллельных сечений. Поскольку процесс определения площади  $S$  каждого поперечного сечения единообразен, то погрешность определения площади каждого сечения  $m_{S_{\Phi}}$  рассчитывается по формуле:

$$m_{S_{\Phi}} = \pm \sqrt{\frac{0.02^2 V^2 - S_{\Phi}^2 m_L^2 - 0.0007^2 (L+B)(L^2 b^2 l^{0.2} + h^2 l^{2.2}) - 0.004^2 S_{\Phi}^2}{2L^2}} \quad (10.1)$$

Погрешность определения объема  $V_i$  каждого поперечного сечения  $m_{a_v}$  рассчитывается по формуле:

$$m_{a_v} = \pm \sqrt{0.0007^2 (L+b)(L^2 b^2 l^{0.2} + h_{\text{ср}}^2 l^{2.2})} \quad (10.2)$$

где  $L$  – длина выработки, м;

$l$  – интервал между смежными сечениями (между пикетами), м,  $l = \text{const} = 10$  м;

$b$  – горизонтальная ширина выработки, м;

$S_{\text{ср}}$  – средняя площадь выработки вычисляется по формуле:

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sum S_i}{n} \quad (10.3)$$

$m_L$  – погрешность измерения длины выработки = 0,1мм

$B$  – базис фотосъемки;

$h$  – высота выработки;

$h_{\text{ср}}$  – средняя высота заданной выработки;

$V$  – объем выработки вычисляется по формуле:

$$V = 0.5 \times l_{\text{const}} \times S_{\text{ср}} \times (n - 1) \quad (10.4)$$

Вычисление погрешности площади сечения выработки и погрешности определения объема выработки рассчитывается в таблице

где указываются параметры выработки, базис фотосъемки. Погрешность определения объема выработки должна удовлетворять следующему условию -  $m_{a_v} = \pm 0.03V$ , а погрешность определения площади сечения при

$l_{\text{const}} = 10.0$  м (интервал смежных сечений) должна удовлетворять следующему условию -  $m_{S_{\Phi}} = 2.1\%$ .

10.3 Вычисление погрешности определения фотограмметрических координат точек контура сечения выработки.

При решении фотограмметрических задач, координаты точек объекта съемки определяют в фотограмметрической системе координат, т.е. в пространственной прямоугольной системе, связанной геометрически с точкой фотографирования. Это координаты  $X_{\Phi}$   $Y_{\Phi}$   $Z_{\Phi}$ . Положение фотоснимка относительно центра проекции определяют по элементам внутреннего ориентирования. К ним относятся координаты  $x_0$   $y_0$   $z_0$  главной точки снимка

и фокусное расстояние  $f_c$  снимка. Зная элементы внутреннего ориентирования, можно по координатам  $x_i, y_i, z_i$  точек изображения объекта на снимке восстановить связку лучей, существующую в момент фотографирования упомянутых точек в натуре. При установке фотокамеры ее оптической осью по нормали к объекту съемки, соблюдаются условия вертикальности фотопленки и горизонтальности оптической оси камеры. В процессе фотоконтурных съемок точку начала фотограмметрических координат допустимо совмещать с геометрическим центром снимка. Допустимо также принять равенство фокусных расстояний снимка и самой фотокамеры, поскольку в процессе подготовки аппаратуры к фотоконтурной съемке обязательно производят калибровку и масштабирование снимка на выбранные расстояния съемки, особенно при работе с широкоугольными объективами т.е

$$f = f_c = f_k \quad (10.5)$$

где  $f_c$  - фокусное расстояние снимка;

$f_k$  - фокусное расстояние фотокамеры

При съемке сечений вертикальных горных выработок метод съемки подобен аэрофотосъемке, а при съемке горизонтальных выработок – наземной фотограмметрической съемке. Поскольку в пространстве оси координат занимают постоянное положение относительно горизонта, поэтому при съемке горизонтальных выработок например ось Z вертикальна, ось Y направлена по линии базиса, а при съемке вертикальных выработок ось Y горизонтальна, а ось Z направлена по линии базиса. Принимая во внимание эти особенности фотоконтурной съемки, рекомендуется исходить при применении формул для определения координат точек контура поперечного сечения горизонтальной или вертикальной горной выработки.

Погрешность определения площади поперечного сечения выработки является функцией от погрешности измерения расстояния от центра источника света до поверхности выработки, т.е. от погрешности определения фотограмметрических координат  $X_\phi, Z_\phi$ .

Погрешность определения координаты  $X_\phi$  вычисляется по формуле:

$$m_{X_\phi} = \pm \frac{1}{f} \sqrt{X^2 m_{B_c}^2 + B_c^2 m_x^2 + X_\phi^2 m_f^2} \quad (10.6)$$

где приведенные данные для всех вариантов одни и те же

$m_{B_c}$  – погрешность измерения базиса фотосъемки,  $m_{B_c}^2 = \pm 5$  мм;

$m_x$  – погрешность измерения координаты X,  $m_x = \pm 0,1$  мм;

$m_f$  – погрешность определения фокусного расстояния  $m_f = \pm 0,001$  мм;

X – превышение точки контура над точкой центра источника света  $X = 5,0$  мм.

В результате расчетов  $m_{X_\phi}$  не должна превышать 4%.

Вычисления погрешности координаты  $X_\phi$  возможно при трех типах горных выработок с разной высотой и фотографируемых разными типами фотокамер с разными фокусными расстояниями. Все данные по измеряемым выработкам заносятся в таблицу, где и определяют погрешность фотограмметрических координат точек контура сечения.

## Глава 11 РЕШЕНИЕ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ СПОСОБОМ ФОТОГРАММЕТРИИ И ПРИ ПОМОЩИ GPS

### 11.1 Основные технологические схемы создания топографических планов

Прежде всего, заметим, что при топографическом обеспечении горных работ в основном имеют дело с планами (масштабы 1:500 – 1:5000), поэтому о картографировании только об этих масштабах и пойдет далее речь. НФС применяется только в горной местности, когда объекты расположенные ближе к камере не перекрывают картографируемый участок местности. Ее имеет смысл применять при маркшейдерском обслуживании открытых горных работ, если экономически невыгодна или невозможна аэрофототопографическая съемка. Комбинированную АФС применяют, при возникновении проблем с отображением по фотоснимкам рельефа местности, например, в случаях, когда местность равнинная, или она закрыта (застроена, покрыта высокой и плотной растительностью), а также, если повышены требования к точности отображения рельефа. Комбинированную АФС по возможности пытаются избегать из-за большого объема полевых работ, а значит высокой их стоимости и низкой производительности.

Стереотопографический метод АФС является основным, и его не применяют только по причинам, которые были обозначены выше. Таким образом, есть веские основания начать изучение АФС с рассмотрения технологии стереофотоотопографической съемки.

## 1. Технологические схемы

Сущность метода заключается в том, что в камеральных условиях по фотоснимкам получают и контурную часть плана, и изображение рельефа. Полевые работы необходимы только для определения плановых координат (высот) опознаков и дешифрирования снимков.

Теоретической основой метода является решение двойной обратной пространственной фотограмметрической засечки. Но характер и последовательность выполнения основных процессов зависит в основном от двух факторов: применяемого для обработки снимков оборудования, и необходимости составления фотоплана (ортофотоплана).

Заметим, что в процессе развития стереофотоотопографического метода, было предложено 4 разных концепции использования пары снимков для составления по ним планов и карт. Первая связана с расчленением технологии на отдельные: процессы. Вторая предполагала физическое построение с помощью аэро или наземных снимков точных пространственных моделей (геометрически подобных уменьшенных копий того, что имело место в процессе фотографирования местности). Решение двойной обратной пространственной засечки обходилось в этом случае без значительных математических расчетов. В третьей было реализовано аналитическое решение основных процессов указанной выше засечки: восстановление связок проектирующих лучей (внутреннее ориентирование снимков), взаимное ориентирование (построение модели), внешнее ориентирование модели, определение координат точек местности. Четвертая основана на цифровой обработке информации современными средствами вычислительной техники.

На основе первых двух концепций появились в свое время (в рамках стереотопографической съемки местности) два метода картографирования по снимкам дифференцированный и универсальный.

В дифференцированном методе картографирования, каждый процесс выполнялся по своей технологии только для него предназначенными средствами. При этом элементы взаимного ориентирования снимков определялись по результатам измерений координат и параллакс соответственных точек на стереокомпараторах. Изображение рельефа местности осуществлялось путем измерения пары плановых снимков на стереомере, который в 30<sup>х</sup> годах сконструирован Ф.В. Дробышевым. Трансформирование снимков производилось на фототрансформаторах. Несмотря на то, что указанная технология имела выдающееся значение при картографировании территории СССР в масштабе 1:25 000 и 1:100 000, на ней не стоит останавливаться, так как она теперь имеет только историческое значение. Приборы, предназначенные для реализации универсального метода стереотопографической съемки, и называли универсальными аналоговыми приборами. А поскольку оператор выполнял на них стереоизмерения, то полное их название – универсальные аналоговые стереофотограмметрические приборы. Следует отметить, что эра и этих приборов близка к закату. Их уже не производят и из производственного процесса постепенно исключают, так как возможности этих приборов значительно ограничены и по производительности и по параметрам обрабатываемых снимков, и по учету различных искажений снимков (кривизны Земли и рефракции, деформации эмульсионного слоя, дисторсии объектива и проч.).

На смену моделирующим приборам пришли аналитические стереоприборы, у которых таких ограничений нет. Их предшественники стереокомпаратор и вычислительная машина. И именно отсутствие соответствующих средств вычислений долгое время сдерживало развитие аналитической фотограмметрии. В настоящее время на производстве имеется парк универсальных аналитических стереофотограмметрических приборов. Но и их век весьма ограничен, так как выяснилось, что высокоточные измерения, причем с элементами автоматизации, можно выполнять и на экране монитора.

К цифровым методам обработки снимков привело бурное развитие вычислительной техники. За ними не только будущее, но, пожалуй, уже и настоящее. На первый взгляд цифровые и аналитические методы это одно и то же. Но это не так. В аналитических методах основным источником информации является фотоснимок, который и измеряется оператором для определения координат и параллакс. Значит аналитический прибор, как обрабатывающая система обязательно имеет той или иной конструкции стереокомпаратор. Цифровые методы имеют дело с цифровым снимком на магнитном носителе, который получают как результат сканирования фотоизображений или путем фотографирования цифровыми камерами. Часть информации может быть получена в процессе дигитализации существующих картографических материалов. Все это обрабатывается синтетически на компьютере. Результат обработки контролируется на экране дисплея, в том числе и в трехмерном виде.

Фотопланы (ортофотопланы) как основу топографического плана есть смысл составлять, если снимаемая территория (незастроенная, с рассредоточенной и малоэтажной застройкой) характеризуется большим количеством контуров. В соответствии с рекомендациями инструкции [9], при съемке в масштабе 1:5 000 фотопланы используют как основу при любом характере застройки. Но при съемке участков с многоэтажной застройкой земной поверхности в масштабах 1:2 000 и крупнее фотопланы не составляют.

## 2. Цифровые модели местности, планы, карты.

Использование новейших типов съемочных систем, переход к компьютерным технологиям и информационным системам позволяют получать и хранить полученную информацию о местности в виде цифровых программ и моделей. При необходимости они могут быть представлены в графическом виде на бумажном носителе. Либо на экране монитора. Графические планы и карты стали вторичны по отношению к цифровым моделям местности.

а. Цифровая модель местности (ЦММ) – это массив чисел. Каждым элементом массива являются координаты ( X, Y, Z) местности и зашифрованная цифровым кодом какая-либо семантическая информация об этой местности. Цифровая модель местности содержит информацию о рельефе и о ситуации. При разделении этой информации получают цифровую модель рельефа (ЦМР) и цифровую модель ситуации (ЦМС). Под ЦМР понимают совокупность пространственных координат

(X, Y, Z) точек земной поверхности. ЦМС содержит информацию о плановых координатах ( X, Y) точек, лежащих на границах различных объектов. Это могут быть границы топографических элементов, сельскохозяйственных угодий, почвенных разностей, лесотаксационных единиц. ЦММ являются базой для создания широкого спектра картографической продукции, используемой землеустроительными и кадастровыми службами. Это цифровые карты, фотопланы, контурные фотопланы, топографические фотопланы, ортофотопланы, фотокарты, топографические планы.

б. Цифровая (электронная) карта (ЦК) это объединение цифровой модели рельефа и нескольких цифровых моделей ситуации. Каждая ЦМС представляет собой так называемый слой ЦК. Все слои ЦК накладываются на ЦМР. Как правило в цифровых картах используют географические координаты, поэтому цифровые карты не имеют масштабов. При визуализации ЦК может быть предоставлена в любом масштабе, но не крупнее того, точность которого соответствует точности исходных данных для создания ЦК. ЦК содержат значительно больший объем информации, нежели традиционные графические карты, благодаря послойному ее хранению. Кроме того, ЦК физически не устаревают, не ветшают. Информацию о местности на современном уровне поддерживают ведением непрерывного мониторинга и картографического дежурства. В зависимости от расположения пикетов различают регулярные, полурегулярные, и структурные ЦМР

- регулярные ЦМР – пикетные точки расположены в узлах сетки квадратов, прямоугольников или равносторонних треугольников. Однако построение регулярных ЦМР может привести к потере информации о рельефе местности. Это вызвано тем, что характерные точки и линии рельефа могут оказаться между узлами сетки и не отобразятся на ЦМР.

- полурегулярные ЦМР применяются при проектировании линейных сооружений в этих моделях пикетные точки располагают на поперечниках к трассе в характерных местах рельефа или на определенном расстоянии друг от друга.

- структурные ЦМР – наиболее точно описывают рельеф, поскольку их пикетные точки выбирают в характерных местах рельефа .

ЦМР позволяет получить отметку любой точки местности с определенной точностью, что необходимо при цифровой фотограмметрической обработке одиночных снимков.

в. Фотоплан - фотографическое одномасштабное изображение местности в заданном обычно стандартном масштабе, на которое нанесена координатная сетка. Как правило фотопланы изготавливают в рамках трапеций государственной или условной разграфки или на территорию отдельных землепользований.

- контурные фотопланы – на них условными знаками показаны необходимые элементы ситуации, некоторые элементы естественного рельефа; бровки балок, оврагов, линии резкого изменения крутизны склонов, а также искусственные формы рельефа.

- топографические фотопланы – на них условными знаками показаны ситуация и нанесены горизонталы. После удаления фотоизображения контурные и фотографические фотопланы превращаются соответственно в контурные и топографические планы.

г. фотокарты - это топографические фотопланы с уменьшенным до необходимого минимума числа условных знаков.

д. ортофотоплан - фотографическое изображение местности в ортогональной проекции. Применяется при съемках любых рельефов местности.

При оценке точности топографических планов различают средне квадратические погрешности в плановом и высотном положении точек на плане относительно ближайших пунктов съемочного обоснования. При многочисленных исследованиях установлено, что средняя квадратическая погрешность  $m_k$  положения контурной точки для планов масштаба 1:1000 – 1:5000 составляет величину порядка 0,03мм. На застроенной территории  $m_k$  положение важных контуров на плане составляет 0,02мм относительно ближайших пунктов съемочного обоснования.

Существует также оценка точности изображения рельефа, положения контурной точки на плане, точность положения горизонталей по высоте. Построение ЦМР это также очень важный этап работы любой цифровой фотограмметрической системы. Без нее невозможно выполнить трансформирование снимков рельефной местности и

ортотрансформирование, автоматизировать процесс нанесения горизонталей и прочее. Кроме того, ЦМР представляет и самостоятельный интерес для специалистов различных областей науки и техники.

Строят ее в ручном и автоматическом режиме. В первом случае необходимо набрать высотные пикеты характерных точек рельефа местности и по характерным его линиям. Чем больше таких точек, тем точнее будет ЦМР.

При построении в автоматическом режиме получается, как правило, регулярная ЦМР, являющаяся набором точек в некоторых границах, расположенных по сетке с одинаковым шагом. Значения высот в этих точках определяются с помощью коррелятора (например, модуль DTM программы PHOTOMOD) или методом интерполирования по значениям высот, набранных в процессе векторизации пикетов (Талка).

Алгоритмы построения ЦМР различны, и в модуле DTM (Digital Terrain Model), например, их несколько: регулярная, адаптивная, гладкая и оптимизация. Он строит и визуализирует ЦМР исследуемого объекта в виде пространственной сети триангуляции TIN (Triangulation Irregular Network); Какую из четырех моделей построения ЦМР использовать зависит от характера местности.

Любая программа обеспечивает редактирование ЦМР, построенной в автоматическом режиме, проведение горизонталей с заданным сечением, построение профилей местности, определение объемов и т.д.

## 11.2 Составление маркшейдерских планов открытых горных пород.

Наземная стереофотограмметрическая съемка при маркшейдерском обеспечении открытых горных работ имеет перед тахеометрической съемкой определенные достоинства:

- высокая точность измерений
- объективность и достоверность получаемых результатов
- бесконтактный характер измерений, так как измеряют не объекты в натуре, а их фотографические изображения; этим обуславливается возможность измерений недоступных для человека с точки зрения ТБ.
- высокая производительность труда
- возможность зафиксировать в короткий срок состояния всего сфотографированного объекта (карьер, оползень) или отдельных его участков.

Наземная стереофотограмметрическая съемка (НСС) применяется:

1. Для составления и пополнения маркшейдерских планов вскрышных и добычных участков карьера.
2. Съежек отвалов.
3. Складов готовой продукции.
4. Маркшейдерского обеспечения буровзрывных работ.
5. Геологического документирования откосов карьерных уступов.
6. Съежек транспортных путей, энергосетей, оборудования.

- Общая организация НСС объектов открытых горных разработок аналогична организации работ при составлении топографических планов, но имеются некоторые отличия, вызванные особенностями объекта съежек – карьера, целями и задачами построения маркшейдерских планов, а также их содержанием.

- Пополнительные съежки карьеров, являющиеся наиболее распространенным видом маркшейдерских съежочных работ, представляют собой постоянно повторяемый процесс. Повторные съежки производят по мере продвижения фронта горных работ на определенный отчетный период (месяц, квартал, год). Масштабы съежек горных выработок зависят от размеров и производительности карьеров и установлены равными 1:2000 или 1:1000. Постоянство масштаба съежки и принятой системы разработки приводят к тому, что работа по составлению проекта фототеодолитной съежки носит разовый характер. Следовательно имеется возможность выбора местоположения базисов фотографирования и контрольных точек с многократным их использованием в течении длительного времени, что существенно упрощает организацию работ по съежке и значительно сокращает объемы геодезических измерений длин базисов при привязке базисных и контрольных точек.

- Основные технологические процессы производства НСС карьеров остаются такими же, как и при создании топографических планов и включают подготовительные, полевые и камеральные работы.

-Подготовительные работы начинают с составления проекта фототеодолитной съежки. Он должен удовлетворять следующим требованиям:

1. обеспечение необходимой точности определения пространственных координат отдельных точек карьера
2. полнота охвата съежкой всей намечаемой территории
3. обеспечение длительной сохранности базисов и корректируемых точек
4. возможность максимального упрощения камеральных работ.

Выполнение этих требований во многом определяется выбором мест размещения съежочных базисов, направлений осей съежки (вида съежки), мест расположения контрольных точек с учетом имеющегося съежочного и фотограмметрического оборудования.

- для камеральной обработки стереоскопических пар используют стереокомпараторы, универсальные приборы и автоматизированные системы. Для фотографирования применяют фототеодолит Photho 19/1318 или фотокамеры УМК 20/1318 и УМК 30/1318

При выборе базиса фотографирования руководствуются следующими правилами:

1. Базисы следует располагать так, чтобы число было минимальным при возможно большем охвате съемки карьера. На каждом базисе следует использовать нормальный и равноотклоненный, виды съемок.
2. Должно быть обеспечено длительное сохранение базисных и контурных точек с целью обеспечения дополнительных съемок.
3. Направление базиса должно быть, по возможности, параллельным основному направлению фронта работ на карьере.
4. Базисы располагают выше фотографируемых участков, что обеспечивает съемку с минимальной площадью «мертвых пространств»
5. При транспортной системе разработок с внешним отвалообразованием, базисы выбирают на неподвижном борту карьера, с внутренним отвалообразованием – на отвалах.
6. В карьерах со сложной криволинейной формой рабочих уступов для достижения полного охвата съемкой всего карьера возможно проектирование базисов при направлении осей съемки вдоль фронта работ.

Проект размещения базисов фотографирования составляют на плане масштабов 1:2000, на котором намечают границы съемок с каждой стереоскопической пары наземных снимков.

Базисы размещают таким образом, чтобы обеспечивалось перекрытие площадей съемок со смежных базисов была не менее 20%. На плане показывают расстояние до дальней и ближайшей границ съемок ( $Y_{\min}$  и  $Y_{\max}$ ). Где  $Y_{\max}$  равно от 80 до 160 см в зависимости от прибора. минимально допустимая величина базиса фотографирования вычисляется по формуле

$$B_{\min} = Y_{\max}^2 * m_p / m_y * ft \quad (11.1)$$

Где  $t = 0,7$  при  $\phi = 0^\circ$  и  $t = 1,0$  при  $\phi = 31,5^\circ$   $\phi$  – угол скоса

$$Y_{\min} = k * B \quad (11.2)$$

где  $k = 3,5 - 4,0$  коэффициент учитывающий свойство перспективных искажений.

С целью исключения возможных ошибок при камеральной обработке наземных снимков каждая стереопара обеспечивается контрольными точками. Чтобы правильно разместить эти точки и проверить охват карьера съемкой, составляют схему размещения базисных и корректурных точек, используя для этого план горных работ. Для каждого базиса и вида съемки наносят ближнюю, дальнюю и боковые границы. Боковые границы, определяющие сектор съемок, обычно наносят с помощью палетки сделанной на прозрачной основе. Для разных фототеодолитов строится по разному.

После нанесения границ съемочных участков проверяют охват участков съемки по высоте, которые зависят от предельных углов наклона. Для решения этой задачи также используют палетку. В результате устанавливают какие участки карьера находятся за пределами вертикального угла поля зрения. Для досъемки этих мест проектируют самостоятельно базисы или тахеометрическую съемку. После установления границ съемки с этого базиса приступают к выбору контрольных точек. Каждая стереопара обеспечивается тремя – четырьмя точками, расположенными по определенной схеме в качестве контрольных точек, выбирают отчетливо видимые и четко опознающиеся на снимках постоянные местные предметы, а также точки маркшейдерской опорной сети. Проектируя следующий базис, при нанесении на проектную схему границ секторов необходимо предусматривать перекрытие со смежными базисами. А также использование по возможности уже созданные контрольные точки. Полевые работы при фототеодолитной съемке состоят из рекогносцировки местности съемки, с целью:

1. уточнения составленного технического проекта,
2. сгущения геодезической опорной сети и привязки к ней базисов и корректурными точками
3. маркировка корректурных точек
4. фотосъемка участка
5. фотолабораторные работы, контроля качества негативов
6. топографического дешифрирования снимков
7. досъемки мертвых пространств
8. вычисление рабочих координат опорных базисных и контрольных точек
9. длины дирекционных углов базисов.

Камеральная обработка снимков ведется с целью составления плана карьера, а также для определения пространственных координат отдельных точек сфотографированных объектов. Основной целью съемки карьеров является подсчет объемов вскрышных пород и добычных работ, выполненных за определенный период времени. Подсчет объемов вынутых масс производится по последовательно составленным планам методами вертикальных или горизонтальных сечений.

### 11.3 Определение деформаций инженерных сооружений

Деформации инженерных сооружений происходит под воздействием внешней силы (нагрузки). Она приводит к изменению формы объекта или перемещению частиц его материала. При перегрузке частицы материала могут утратить взаимную связь и сооружение деформируется или разрушится полностью. Исследование этих процессов имеет важное значение при проектировании и строительстве различных инженерных сооружений.

Для изучения деформации объекта применяют геодезические и фотограмметрические методы. По данным геодезических измерений можно определить довольно малые, разнесенные во времени перемещения точек объекта, что не позволяет оценить его состояние в целом в данный момент. Фотограмметрические методы по точности уступают геодезическим, но они позволяют фиксировать положение точек изучаемого объекта в один физический момент, что дает возможность оценить взаимную деформацию точек объекта в целом и отдельных его частей.

Принцип определения деформаций ФМ заключается в многократном получении координат точек исследуемого объекта по измерениям наземных снимков и их сравнения с исходными данными или проектными. В наземной фотограмметрии изучение деформируемого объекта производится либо по одиночному снимку, либо по результатам измерений стереопары. Первый метод называется фотограмметрическим (метод нулевого базиса) второй метод – стереофотограмметрическим.

Фотограмметрический метод используют в случаях, когда необходимо определить изменение положений точек объекта в плоскости, параллельной плоскости снимка. Фотографирование производится с одной фотостанции многократно, с сохранением элементов внутреннего и внешнего ориентирования фотокамеры. Первую съемку производят сразу после завершения строительства объекта или до его нагрузки и такую съемку называют съемкой нулевого цикла. Последующие съемки называют съемками деформационных циклов.

Снимки каждого цикла измеряют на стереокомпараторе. Разности координат одноименных точек снимков разноименных циклов характеризуют общую деформацию объекта в этих точках. Параллельность между плоскостью изображения и плоскостью объекта при съемке должна выдерживаться с точностью  $\pm 2,5^\circ$ .

Стереофотограмметрический метод применяется для определения деформаций пространственных объектов. Фотографирование объекта выполняют с концов базиса. Отстояние и длину базиса фотографирования рассчитывают. Применяется нормальный вид съемки. Снимки стереопары, полученные в каждом цикле, измеряют на стереокомпараторе. Смещение точек объекта определяют по трем координатным осям как разности координат X, Y, Z одноименных точек.

Стереосъемка также осуществляется при установке базиса **параллельно** плоскости объекта с ошибкой  $\pm 2,5^\circ$

В стерео- и фотограмметрических методах деформации определяют через измеренные плоские координаты точек снимков. Такой способ называется способом координат.

Для повышения точности определения деформации применяют способ смещений .

В этом способе снимки также измеряют на стереокомпараторе , но стереопара образуется по принципу левый снимок - снимок нулевого цикла, правый снимок – снимок деформационного цикла, полученный с той же точки фотографирования. При определении деформаций по способу смещений сначала в снимкодержатель прибора устанавливают снимки нулевого и деформационного циклов, полученные при фотографировании с левого базиса и измеряют плоские координаты  $x_1$   $z_1$  неподвижных точек и смещение  $\Delta x_1$  и  $\Delta z_1$  подвижных точек. Затем те же действия выполняют для снимков полученных с правой точки базиса и измеряют координаты и смещения этих же точек. Для повышения точности определения деформации, съемку необходимо производить с короткого отстояния с длиннофокусными камерами. Точность определения по способу смещений в два раза выше, чем по способу координат.

#### 11.4 Применение GPS в горной промышленности

Многолетний опыт, в области технологии систем управления механизмами, позволил лучше определить основные принципы и методики, необходимые для решения практически любой проблемы интеграции GPS. Специальное программное обеспечение включает в себя трехмерное моделирование поверхности карьера и комплексную CAD - систему, что позволяет логически перенести запланированные проекты из камеральных условий в полевые. Далее рассмотрим данные по некоторым основным направлениям использования GPS в горной промышленности:

##### Управление буровым оборудованием

Управление буровыми станками с помощью GPS позволяет повысить как точность, так и производительность буровых работ. В этом случае GPS приемник устанавливается на буровом станке, и используя дифференциальную коррекцию спутникового радиосигнала в режиме реального времени, непрерывно вычисляет координаты стрелы станка. Система управления работает круглосуточно и при любых погодных условиях, поэтому работа не будет сдерживаться из-за плохой погоды или отсутствия маркшейдеров. Буровые станки могут передвигаться по запланированной сетке бурения без необходимости ее предварительной разметки на местности, что исключает целый этап буровых работ. Необходимую для этого информацию бортовой компьютер бурового станка получает по радиоканалу из диспетчерского центра. Точные координаты пробуренных скважин в дальнейшем могут быть включены в состав данных мониторинга буровых работ для создания подробных итоговых отчетов.

##### Управление экскаваторами



Установка на борту экскаваторов и погрузчиков систем управления, обеспечивающих сантиметровую точность, исключает дорогостоящие работы маркшейдерских бригад по разметке местности. Машинисты оборудования могут с высокой точностью выдерживать проектные отметки, используя визуальную информацию на специальных дисплеях, которые монтируются в кабине экскаватора. Поскольку GPS приемник непрерывно определяет точное местоположение ковша, информация о границах выработки и о структуре рудного тела может автоматически поступать в единую систему управления карьерными работами. В этом случае также отпадает необходимость в текущей маркшейдерской съемке экскаваторного забоя, поскольку эта съемка ведется в автоматическом режиме. Наличие постоянной цифровой радиосвязи с диспетчерским пунктом позволяет оперативно изменять техническое задание. Возможность точного управления рабочими органами драг позволяет произвести оценку наиболее экономичной геометрии выработки, а также иметь цифровую карту дражного забоя на любой момент времени.

### Земляные работы

Знание точного местоположения ножа бульдозера или грейдера в любой момент времени позволяет существенно снизить стоимость работ, связанных с разработкой и рекультивацией участков земной поверхности. Действия машинистов бульдозеров и грейдеров могут направляться без необходимости выноса в натуру проектной поверхности или переделки работы. Непрерывно обновляемая реальная цифровая карта рабочего участка сравнивается с проектной, при этом определяется оптимальный маршрут движения рабочего механизма, заглупление ножа и другие рабочие параметры. Это сохранит дорогостоящее время и топливо, а также повысит качество работы и отчетной документации. Работы по рекультивации проводятся с минимальными затратами, при этом гарантируется упорядоченное наложение нижних и верхних слоев почвы.

## Глава 12 Особенности основных отечественных фотограмметрических станций

### 11.1 Пакет PHOTMOD SP

PHOTMOD это название программного обеспечение для персональных компьютеров по цифровой обработке снимков, которое было разработано, постоянно совершенствуется и внедряется компанией Ракурс (Москва). Компания была основана в 1993 году, и в настоящее время ее продукция успешно эксплуатируется на многих предприятиях России, странах СНГ и дальнего зарубежья. Одним из первых ее продуктов и был PHOTMOD SP, который ориентировался, прежде всего, на обработку наземным снимков. Он имел модульную структуру, и обеспечивал: построение моделей по паре снимков и их внешнее ориентирование; построение цифровых моделей рельефа и работу с ними; трансформирование снимков и векторизацию. К сожалению, это направление пока не получило дальнейшего развития. Затем появился PHOTMOD AT, обеспечивающий обработку блока снимков, состоящего из нескольких маршрутов. Последняя версия PHOTMOD 3.51

DXF, для использования в других приложениях.

Достоинством программы является возможность построения ЦМР в автоматическом режиме с возможностью последующего ручного редактирования. Процедура обеспечивает:

- Обработку снимков центральной проекции и сканерных изображений.
- Выполнение блочной фототриангуляции.
- Создание цифровых моделей рельефа.
- Создание ортофотоплана.
- Векторизацию в стереорежиме и по ортофотоплану.
- Создание и печать электронных карт.
- Калибровку планшетных полиграфических сканеров.

Рекомендуемые требования к программным и аппаратным средствам: процессор Pentium IV 2 GHz; оперативная память 512 MB; операционная система Windows 2000; графическая карта True color, 64 MB, аппаратная поддержка OpenGL quad-buffering. К дополнительному оборудованию относят жидкокристаллические (затворные) и анаглифические очки для стереонаблюдений и специализированную 10-кнопочную мышь.

Благодаря гибкой модульной структуре и сетевым возможностям PHOTMOD может использоваться как:

- Локальная полнофункциональная цифровая фотограмметрическая станция.
- Распределенная сетевая среда для реализации больших проектов

- Дополнительные рабочие места к имеющимся фотограмметрическим системам типа Helava, Integraf для выполнения наиболее трудоемких операций (стереовекторизации, построения и редактирования ЦМР).

Как отмечалось, PHOTMOD SP хорошо адаптирован для наземной фотограмметрии. Он многомодульный и включает:

1. Основной модуль. Он предназначен, главным образом, для построения модели по паре снимков и ее внешнего ориентирования.
2. Модуль стереовекторизации (StereoDraw) – служит для построения и редактирования в моно или стереорежиме визуализации векторных объектов: точек, полилиний, полигонов и прямоугольников.
3. Программный модуль создания цифровых моделей рельефа (ЦМР или DTM (Digital Terrain Model)). Он не может эксплуатироваться автономно, поскольку использует результаты процедур взаимного и внешнего ориентирования, в модулях PHOTMOD SP. Модуль предназначен: для построения и визуализации ЦМР исследуемого объекта в виде пространственной сети триангуляции TIN (Triangulation Irregular Network); анализа и редактирования модели в режимах моно и стереоскопического отображения; формирования в автоматическом режиме ортотрансформированных изображений; расчета и визуализации горизонталей; экспорта ЦМР (TIN) в распространенные векторные форматы и т.д.
4. Модуль VectOr - это фактически геоинформационная система, предназначенная для создания и редактирования электронных карт, решения типовых прикладных задач и разработки специализированных ГИС-приложений в среде Windows 95, 98, Windows NT и Windows CE. Система позволяет создавать векторные, растровые и матричные карты, а также оперативно обновлять различную информацию о местности.

При реализации нового проекта работу начинают с основного модуля. Предварительно снимки (если они не цифровые) сканируют с учетом изложенных выше рекомендаций. Но следует помнить, что чрезмерно завышать уровень разрешения нецелесообразно, так как резко возрастает объем обрабатываемой информации, что приводит к трудностям в работе. Для компенсации искажений возникающих при использовании полиграфического сканера используют специальную технологию, которая включает: сканирование калибровочной сетки, расчет поля искажения сканера и коррекцию цифрового снимка с помощью программы Scan-Correct. Сохранять цифровые снимки следует в формате .bmp

Далее создается база данных, в которой хранятся исходные цифровые снимки и будут храниться все другие изображения и данные, появление которых связано с построением и внешним ориентированием модели. В процессе работы может быть создано несколько баз данных, но работать можно только с текущей.

Окно базы данных является одним из основных элементов интерфейса программы. Оно служит для отображения информации о текущей базе данных и для выполнения операций над ее объектами. Основными такими операциями являются: ввод исходной стереопары; внутреннее ориентирование снимков, геопривязка левого снимка; обеспечение стереопары набором соответственных точек; взаимное ориентирование снимков (построение модели); перенесение опознаков на правый снимок, внешнее ориентирование модели, выход из модуля ориентирования с сохранением полученных результатов. Рассмотрим каждую из операций в отдельности, но конечно без детализации.

Для того, чтобы ввести снимки нужно воспользоваться виртуальными клавишами левый/правый в окне базы данных и указать в диалоговом окне путь и имя bmp файла, содержащего соответствующее изображение. При выполнении операции цветные снимки можно преобразовать в черно-белые и изменить масштаб изображения.

В процессе внутреннего ориентирования снимков (виртуальная клавиша внутреннее ориентирование) с помощью марки указываются координатные метки на левом и правом снимках, положение главной точки (смещение объектива). Кроме того, вводится фокусное расстояние снимков, расстояния между координатными метками и дисторсия, если они известны. В качестве единиц измерения выбирают миллиметры или пиксели. Пересчет из одной системы в другую легко выполнить, если известно разрешение сканирования, которое вводится при первом запуске базы.

Геопривязка включает выбор системы координат, нанесение на левый снимок опознаков и опорных отрезков, если такие есть (до 99 единиц каждого из объектов), введение координат точек базиса. Возможен и процесс редактирования.

В программе предусмотрено, что для взаимного ориентирования снимков необходимо иметь как минимум 8 соответственных точек. Первые три вводятся вручную, но их положение может быть уточнено с помощью механизма корреляции. Затем может быть задействован механизм автоматического добавления соответственных точек. В процессе выбора точек на экран выдается сообщение о величине коэффициента корреляции. Хорошо когда он более 0.9, но даже и в этом случае корреляционный механизм дает сбои и оператору необходимо осуществлять визуальный контроль. В процессе их введения можно заниматься редактированием.

При взаимном ориентировании программа определяет взаимное угловое расположение снимков в момент съемки и преобразует исходные изображения в трансформированные. Их еще называют эпиполярными снимками. Такие изображения имеют те же центры проекций, но отличаются тем, что соответственные точки на них имеют

практически одинаковые  $u$ - координаты, что значительно ускоряет автоматический поиск соответственных точек и выполнение основанных на нем операций измерений и автоматического построения ЦМР. При известных параметрах внутреннего ориентирования, программа использует классические уравнения коллинеарности для множества пар соответственных точек, задаваемых в полуавтоматическом режиме. Существенным преимуществом программы является возможность проведения взаимного ориентирования при неточном знании параметров внутреннего ориентирования, что делает возможным использование программы в задачах с неполным набором исходных данных. Взаимное ориентирование выполняется, если соответственных точек не менее 8 нажатием на соответствующую виртуальную клавишу. В результате на экране появляется сообщение, в котором указываются элементы взаимного ориентирования в базисной системе координат (если решение найдено) максимальное значение остаточного поперечного параллакса в пикселах и его среднее значение. Можно вызвать таблицу соответственных точек с параллаксами на каждой из них, что позволяет плохие точки удалить и взаимное ориентирование повторить. Считается приемлемым, если остаточные поперечные параллаксы по величине не превосходят одного пиксела.

Процедура абсолютного (внешнего) ориентирования модели служит для определения параметров ее пространственного и углового расположения по имеющимся опорным данным. В качестве опорных данных могут использоваться опорные точки и (или) опорные отрезки. В зависимости от количества и типа используемых опорных данных, процедура абсолютного ориентирования позволяет построить либо свободную модель, имеющую правильный масштаб, но произвольную ориентацию в пространстве, либо модель в пользовательской системе координат (в той системе координат, в которой заданы опорные точки). Для построения свободной модели необходим лишь один (для большей точности лучше два) опорный отрезок, а для построения модели в пользовательской системе координат – не менее четырех опорных точек, с известными  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  координатами. Избыточное количество опорных данных позволяет компенсировать ошибки, внесенные на этапе взаимного ориентирования из-за неточности параметров внутреннего ориентирования.

Перед внешним ориентированием модели следует перенести опознаки с правого снимка на левый. Для этого можно использовать корреляционный механизм, но если коэффициент корреляции мал, то лучше это сделать вручную.

После операции переноса опознаков выполняется внешнее (абсолютное ориентирование) модели. При этом в процесс уравнивания можно включать и не включать точки базиса, корректировать список используемых опознаков, редактировать их координаты и т.д. Основные результаты внешнего ориентирования показываются в окне, которое является предметом анализа. Если результаты удовлетворительны, из модуля можно выходить с сохранением результата. Программа выполнит трансформирование изображения и сформирует стереоизображение, которое можно рассматривать уже в другом модуле StereoDraw.

Рассматривать стереокартину в указанном выше модуле, можно используя анаглифические или затворные очки (по выбору). Пространственная измерительная марка управляется как с клавиатуры, так и мышью. Можно использовать и коррелятор. На экране отображаются пространственные координаты марки. Модуль является основным при съемке подробностей. Основными элементами, которые можно использовать при нанесении ситуации и рельефа являются векторные объекты: точка, полилиния, полигон и прямоугольник. Каждый из векторных объектов имеет набор характеризующих его параметров. Часть из них задается с помощью таблицы кодов, которую можно редактировать и пополнять в соответствии с характером измеряемого объекта. Объекты могут быть сгруппированы по слоям. Созданные векторные объекты могут быть сохранены, использованы для построения цифровой модели рельефа (модуль DTM) или экспортированы в другие векторные форматы, например построения ЦМР основана на автоматическом вычислении с помощью корреляционного алгоритма пространственных координат набора точек изображения, определяемых регулярной сеткой, размер и положение которой задается пользователем. ЦМР позволяет легко и с высокой точностью получать ортоизображение и использовать его в качестве растровой подложки при создании векторных объектов. Внутренний формат ортоизображения несет полную пространственную информацию о точках местности, что позволяет вычислять реальные метрические характеристики векторных объектов. Система позволяет строить полутоновое изображение поверхности рельефа, производить высотную окраску рельефа, натягивать реалистичное (левое) изображение на сеточную модель и визуализировать полученную поверхность в произвольном ракурсе.

В программном модуле DTM предусмотрены четыре способа построения модели рельефа: регулярная, адаптивная, гладкая и оптимизированная. “Регулярная” модель предусматривает определение искомым трехмерных координат рельефа во всех заданных точках модельной сетки. Вариант “Гладкая” модель по набору точек (пикетов) строит интерполяционную поверхность на растровом изображении. Выбор варианта “Адаптивная” модель рекомендуется использовать при обработке изображений со значительными односторонними областями или достаточно гладкими поверхностями. При внесении значительных изменений в модель при ручном ее редактировании рекомендуется использовать вариант “Оптимизация”.

Программный модуль PHOTMOD AT служит для выполнения комплекса работ по построению и уравниванию маршрутных и блочных сетей пространственной фототриангуляции. Этот модуль может быть использован как автономная система или в качестве составной части цифровой фотограмметрической системы PHOTMOD.

При использовании модуля PHOTMOD AT в составе системы PHOTMOD конечной целью работ по

построению и уравниванию сетей фототриангуляции является определение значений элементов внешнего ориентирования снимков, которые используются при последующей фотограмметрической обработке стереопар снимков в программных модулях DTM и StereoDraw. В этом случае при построении сети фототриангуляции нет необходимости выбирать связующие точки на изображениях четких контуров местности, так как идентификация соответственных изображений связующих точек на всех перекрывающихся снимках производится автоматически с помощью коррелятора или интерактивно стереоскопически.

Если фототриангуляция выполняется для определения координат и высот точек, используемых как опорные при последующей фотограмметрической обработке одиночных и стереопар снимков, то эти точки необходимо выбирать на изображениях четких контуров местности.

Программный модуль PHOTOMOD AT состоит из 2-х блоков: Менеджер проектов и Фототриангуляция.

Диалоговое окно Менеджера проектов имеет 2 закладки: Проекты; Камеры.

Диалоговое окно проектов содержит список проектов, созданных на данной станции с указанием уникального имени и даты создания. Список проектов можно сортировать по имени или дате создания нажатием на соответствующий заголовок.

Закладка Камеры предназначена для создания и редактирования каталога съемочных камер.

Основные этапы фототриангуляции:

1. Формирование блока.
2. Внутреннее ориентирование.
3. Создание каталога опорных точек.
4. Измерение опорных точек на снимках.
5. Ввод межмаршрутных связей и измерение точек сети.
6. Ввода связующих точек на перекрывающихся снимках соседних маршрутов (Межмаршрутные связи).
7. Измерение точек сети.
8. Работа со схемой сети.
9. Построение и уравнивание сети фототриангуляции.

Таким образом, в рамках стереотопографической съемки использование программного модуля PHOTOMOD AT связано с этапом камерального сгущения съемочного обоснования.

### 12.3 ТАЛКА

Программный комплекс «Талка» разработан в лаборатории №22 ИПУ РАН и в настоящее время существует несколько его версий. Он предназначен для создания цифровых фотопланов, ортофотопланов и фотосхем, а также ЦМР и векторных контуров объектов с использованием космических и аэрофотосъемочных материалов. Комплекс обеспечивает:

- Работу в местной системе координат или в проекции Гаусса-Крюгера в соглашениях 1942 года.
- Ввод маршрутной схемы с указанием направления залета, взаимного расположения аэроснимков, приближенного значения продольного и поперечного перекрытия в процентах, координат центров фотографирования
- Ввод стандартной таблицы дисторсии объектива АФА, таблицы крестов или положения координатных меток и других параметров внутреннего ориентирования фотоснимков. Расчет ошибок снимка с учетом всех этих данных и с использованием результатов расчета внутреннего ориентирования во всех дальнейших вычислениях.
- Просмотр фотоснимков с одновременным выводом на экран любого их количества, создание технического проекта, создание репродукции накидного монтажа и увеличение фрагментов фотоснимков.
- Расстановку опорных и контрольных точек с выводом координат плано-высотной подготовки.
- Ручную и автоматическую расстановку определяемых точек по зонам, контрольный пробег по точкам с выводом на экран абрисов точек в заданном увеличении, автоматическую идентификацию точек разных фотоснимков.
- Возможность объявления любых фотоснимков стереопарой.
- Построение стереоконтуров по стереомодели с экспортом в DXF формат в заданной системе координат после проведения блочной фототриангуляции.
- Автоматическое построение ЦМР по стереопаре с учетом введенных оператором стереоточек, проверку и исправление построенной ЦМР.
- Развитие аналитической блочной фототриангуляции с учетом данных взаимного ориентирования каждой стереопары, уравниванием всей модели и с внешним ее ориентированием.

- Создание единой ЦМР в указанной оператором области с взаимной сводкой ЦМР, полученных по стереопарам;
- Построение горизонталей с рисовкой утолщенных горизонталей, разрядкой горизонталей на крутых склонах, построением бергштрихов и надписей в автоматическом режиме.
- Расчет смещения точек фотоснимка из-за влияния рельефа с использованием построенной единой ЦМР, аналитическое трансформирование снимков в цифровом виде с учетом смещения точек из-за влияния рельефа, наклона оптической оси, ошибок снимков, усадки на опорные точки.
- Создание мозаичных ортофотопланов по серии снимков с идеальным совмещением всех трансформационных точек снимков, фотометрическим выравниванием фона изображений, созданием зарамочного оформления по существующим стандартам, рисовкой горизонталей.
- Средства стереонаблюдений – стереоочки типа «3DMAХ» или «3DBIS» на станции – в случае обработки снимков с построением ЦМР по стереомодели.

Выходной продукцией технологии являются: цифровые модели рельефа местности, контура объектов DXF, горизонталы в DXF, цифровые фотопланы и фотосхемы, цифровые ортофотопланы, твердые копии фотопланов с зарамочным оформлением.

При работе с программой «Талка» оператору следует различать две системы координат - **входную** и **выходную**. Для каждого обрабатываемого проекта понятие входной и выходной систем координат фиксированы.

Кроме того, в программе имеется понятие внутренней (топоцентрической) системы, в которой ведутся все расчеты. Эта система упомянута только для прояснения ситуации, пересчеты из входной во внутреннюю систему и затем в выходную систему ведутся автоматически.

Входной системой координат в данной версии программы является либо местная система координат, либо система координат в проекции Гаусса-Крюгера с разбиением территории России на шестиградусные зоны. Эту систему называют еще системой координат 1942 года или, для краткости, «Пулково 1942», как, например, в известной программе «Marinfo». В случае местной системы поверхность считается плоской и никаких исправлений за кривизну Земли не вводится, она же является и выходной системой координат проекта.

В случае использования системы координат Гаусса-Крюгера (1942 г.) все расчеты производятся в топоцентрической (внутренней) системе координат. Затем их последовательно пересчитывают, сначала в геодезическую, затем в геоцентрическую и, наконец, в топоцентрическую систему. Тем самым учитывается кривизна земной поверхности. Внутренняя система координат никак не отображается на экране, иными словами, оператор может не знать о ее существовании. Центр топоцентрической внутренней системы помещается в центр указанного оператором листа карты миллионного масштаба. Этот лист указывается при задании так называемой выходной системы координат.

Выходная система координат задается как номер одной из шестиградусных зон и первая буква номенклатуры листа миллионного масштаба. Таким образом, входные данные могут принадлежать двум (и даже более) зонам, в то время как выходные - обязательно одной из них.

Известно, что этот программный продукт был опробован при решении производственных задач, и продемонстрировал хорошие результаты. В частности, при составлении планов масштаба 1:500 по аэрофотоснимкам масштаба 1:10000, расхождение в расстояниях между точками на ортофотопланах (с учетом масштаба) и соответствующими точками на местности не превышали 10см. Кроме того, очень хороший результат был получен при составлении планов по аэрофотоснимкам, когда внешнее ориентирование модели производилось не по опознакам, а по координатам точек фотографирования полученным из GPS-определений в процессе летносъёмочных работ. Выводы:

1. Программный продукт «Талка» является уже сейчас хорошей альтернативой действующим технологиям, в частности комбинированному методу в его теперешнем варианте.

2. С использованием в производственном процессе цифровых технологий легко сочетать приемы стереотопографической съемки с особенностями комбинированной даже в рамках одного планшета, производя рисовку рельефа открытых и полуоткрытых участков на компьютере при различной степени увеличения изображения. Замечено, что процесс нанесения горизонталей при обработке стереомодели залесенной местности выполняется значительно проще, если это делать при обратном стереоэффекте.

1. В связи с изменением технологии обработки снимков, нормативную документацию придется пересматривать.

#### 12.4 ЦФС (Digital/Delta)

Станция позволяет:

- Производить сбор данных как в стерео, так и моно режиме.
- Использовать для сбора растровые файлы аэрокосмических снимков центральной и панорамной проекций и сканированных карт и планов любого размера.
- Передавать собираемые данные в другие системы и использовать программы в качестве навигационного инструмента совместно с GPS-приёмниками.
- Автоматически восстанавливать рельеф для ортофото.

- Использовать редактор условных знаков с поддержкой всех типов условных знаков.
- Синхронно изменять смежные объекты при редактировании.
- Форматировать вывод параметров и поддерживать различных единиц измерения.
- Осуществлять быстрый поиск объектов по любой совокупности их параметров.
- Выполнять автоматическое построения полигонов из "лапши".
- Производить привязку к объектам, текстовых, графических и прочих файлов.
- Сохранять карты в файле со сжатием.
- Выполнять распаевку земельных участков с учетом качества земель.

Имеет интерфейс с портативными GPS-приемниками для использования в навигационных целях.

## Глава 13 НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

Нефотографические съемочные системы отличаются от фотографических систем тем, что в них для регистрации электромагнитного излучения применяют иные сенсоры и другие способы передачи изображения. НСС разработаны с целью расширения технических возможностей аэро и космических методов изучения земной поверхности. На космических летательных аппаратах установленные съемочные системы позволяют получать информацию о процессах, происходящих на земной поверхности в реальном или близреальном времени. Специфика КЛА потребовала конструирования съемочных систем специального вида – компактных, малой массы и электропотребления, надежных в работе, с возможностью передачи информации без искажения на пункт приема непосредственно в процессе съемки. Съемочные системы, применяемые в КЛА применяются и при аэрофотосъемках.

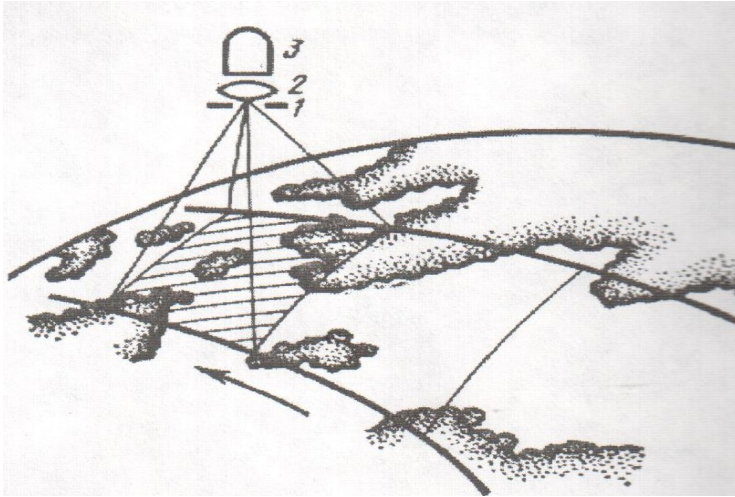
### 13.1 Телевидение.

В основе телевидения лежит фотоэлектрический эффект, используемый в передающих трубках телевизионных камер для преобразования оптического изображения в электрические сигналы. В кадровых телевизионных системах, как и в кадровых фотографических системах, изображение строится по закону центральной проекции. Изображение формируется на фотоэлектрической поверхности – экране (фотомишени), которая является частью приемопередающего устройства – видикона (передающей трубки). Фотомишень выполняет те же функции, что и фотопленка, но она используется многократно. Оптическое изображение с помощью объектива строится на фотомишени.

При проецировании изображения на светочувствительную мишень отдельные ее участки, вследствие внутреннего фотоэффекта, изменяют электрическое сопротивление обратно пропорционально их освещенности. В результате оптическое изображение создает на мишени поле положительных электрических зарядов. Величина заряда на элементарной площадке фотомишени пропорциональна интенсивности падающего светового потока (экспозиции). Изображение сканируется электронным лучом, исходящим из электронного прожектора, быстро оббегающим всю поверхность мишени. Образование узкого луча обеспечивает фокусирующая, а движение луча по мишени – отклоняющая система трубки. Разрешение трубки в значительной мере определяется диаметром сканирующего луча. Чем меньше его диаметр, тем больше строк сканирования и тем более мелкие детали различаются в телевизионном изображении. Современные трубки космических телевизионных систем обеспечивают до 1000 и более строк развертки при размерах мишени 0,5 – 5 см. В момент взаимодействия электронного луча с элементарной ячейкой происходит сложение зарядов. Суммарный заряд поступает на усилитель, после чего передается по радиоканалу на наземный пункт приема, где поступившие сигналы преобразуются в изображение.

Объектив телевизионной камеры во время экспозиции строит изображение сразу всего кадра на светочувствительном экране видикона, который его «запоминает» (фиксирует) на некоторое время.

Схема	телевизионной			съемки:						
1	–	затвор;	2	–	объектив;	3	–	передающая	ТВ	камера



В интервале между экспозициями электронный луч трубки, сканируя экран видикона, формирует электрический видеосигнал, который передается по каналам космической связи. В процессе сканирования фотоэлектрическая поверхность очищается и готова к приему нового оптического изображения. В случае, когда прямая радиосвязь невозможна, результаты съемки записываются на магнитный носитель и после входа в зону радиовидимости сбрасываются по радиоканалу на Землю. Телевизионные изображения менее пригодны для фотограмметрических измерений, чем фотокамеры и сканеры, но они обеспечивают оперативное получение и передачу изображения по каналам связи. Разрешающая способность их может достигнуть единиц сантиметров при съемке с вертолетов и десятков метров при съемке из космоса. При выполнении съемок с помощью камер с самолетов (вертолетов) возникает ряд трудностей, связанных с необходимостью проводить тщательное согласование скорости и высоты полета летательного аппарата с работой системы. Таким образом наиболее эффективно телевизионные системы работают на космических аппаратах.

### 13.2 Сканирующие оптико-электронные системы

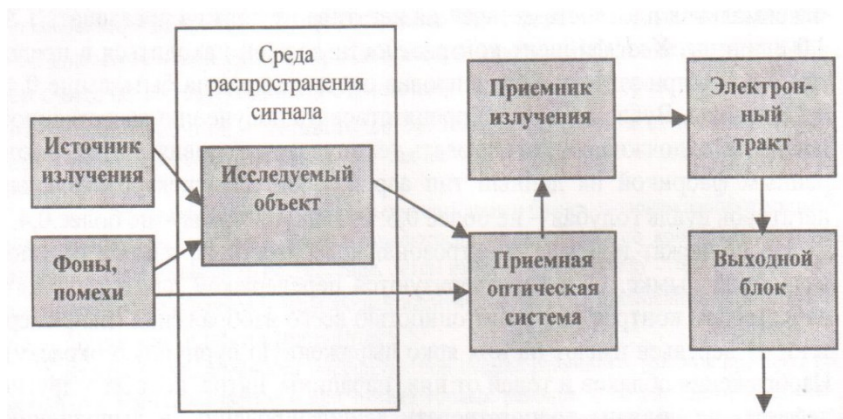
Оптико-электронными системами называют приборы, в которых информация о наблюдаемом объекте переносится оптическим излучением, а ее первичная обработка сопровождается преобразованием энергии излучения в электронный сигнал. Структура многих современных оптико-электронных приборов достаточно сложна. Она включает большое число различных по своей природе и принципу действия звеньев – аналоговых и цифровых преобразователей электрических сигналов, микропроцессоров, механических и электромеханических узлов и др. Действие оптико-электронных приборов основано на способности к приему и преобразованию электромагнитного излучения в различных диапазонах оптической области спектра: от ультрафиолетовой, до видимой и инфракрасной.

**Обобщенная**

**схема**

**работы**

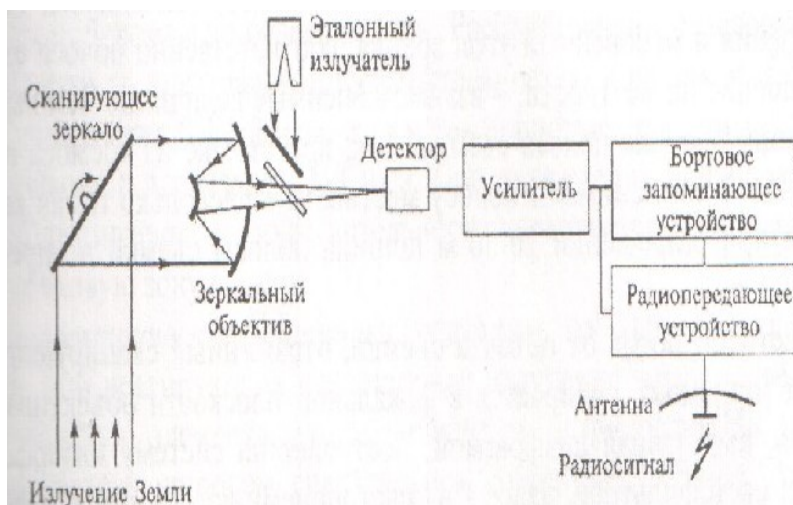
**ОЭП**



Источник излучения создает материальный носитель полезной информации – поток излучения. Этим источником может быть сам исследуемый объект. Приемная оптическая система собирает поток, излучаемый наблюдаемым объектом или отраженный от него, формирует этот поток и направляет его на приемник излучения. Приемник превращает сигнал, переносимый потоком излучения, в электрический. Выходной блок формирует сигнал, по своим параметрам удовлетворяющий требованиям получателя информации.

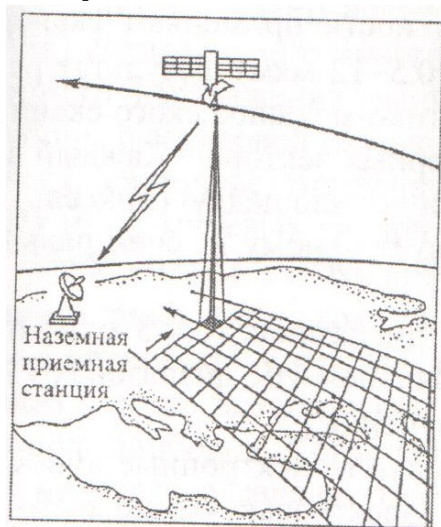
На летательных аппаратах дистанционного зондирования с оперативной доставкой информации в качестве съемочной системы оптического диапазона применяют сканирующие ОЭП или сканеры. Различают оптико-механические сканеры и сканеры с матричными приемниками излучения для формирования электронного изображения, в которых используют линейные приемники излучения – так называемые приборы с зарядовой связью.





С помощью сканеров формируется изображение, состоящее из множества отдельных, последовательно получаемых элементов изображения – пикселей в пределах полос.

Сканирование местности осуществляется в одном направлении за счет движения самолета (спутника) вперед, а в другом (перпендикулярном линии полета) – за счет вращения или колебания призмы (зеркала). Колебательное перемещение призмы (зеркала) в сочетании с движением самолета (спутника) обеспечивает непрерывный охват определенной полосы местности, размер которой зависит от апертуры (действующего отверстия оптической системы объектива) сканера и высоты полета самолета или спутника.



В сканерах, как правило, устанавливают несколько сенсоров, позволяющих получать изображение одновременно в различных спектральных каналах. Информацию, полученную в процессе сканерной съемки, передают в виде цифрового изображения по радиоканалу на приемный пункт или записывают на борту на магнитный носитель. Материалы съемки потребителям передаются в виде записи на магнитном носителе, например, на СД-дисках, с последующей визуализацией на местах обработки снимков. По своим геометрическим свойствам и разрешению на местности сканерные снимки, которые получались съемочными системами первых поколений, уступали фотоснимкам. Однако высокая чувствительность приемников излучения сканеров позволяет выполнять съемку в узких (несколько десятков нанометров) спектральных интервалах, в пределах которых различия между некоторыми природными объектами более четко выражены. В цифровых данных, полученных с помощью сканеров, отсутствуют

«шумы», которые неминуемо появляются при фотосъемке и фотолaborаторной обработке съемочных материалов.

Лучшие в мировой практике сканеры новых поколений позволяют получать информацию с разрешением на местности до единиц в см при съемке с авиационных носителей и до долей и десятков метров с космических носителей.

Сканирующие съемочные системы (сканеры) отличаются от других систем принципом построения изображения, которое строится путем сканирования (просматривания) местности. Сканирующее устройство воспринимает отраженный электромагнитный поток от элементарных площадок снимаемого объекта, расположенных вдоль строки. Размер площадки зависит от высоты съемки, мгновенного угла изображения оптической системы сканера и положение относительно оси сканирования. Угол захвата определяет ширину полосы на местности поперек направления полета. Переход от одной строки к другой (построчная развертка) происходит в результате поступательного движения летательного аппарата. Для исключения разрывов между строками скорость сканирования согласуют со скоростью и высотой полета. В качестве сканирующих устройств применяют –

вращающиеся оптические элементы, плоские зеркала, зеркальные призмы и пирамиды. В сканирующем устройстве применяют различные типы приемников электромагнитного излучения: тепловые, фотонные. Результаты съемки в виде цифрового изображения передаются по радиоканалу в пункт приемки. Если носитель находится вне радиовидимости, то данные съемки записываются на магнитный носитель. Широкое развитие получили сканирующие системы, работающие в инфракрасной области излучения, это спектральные радиометры, радиометрические комплексы, тепловизионные системы. В зависимости от физических и химических свойств снимаемые объекты могут быть теплее или холоднее, результаты измерения температуры имеют вид аналогичный фотографическому изображению местности. Точность регистрации температуры различными системами составляет от 0,1 до 0,005°. Съемку можно выполнять как в дневное, так и в ночное время.

### 13.3 Лазерные съемки

Применение оптических генераторов излучения – лазеров – привело к разработке активных оптических съемочных систем. С помощью лазера облучают снимаемую поверхность. Отраженный от нее сигнал принимает оптическая система. В результате съемки получают трехмерное цифровое изображение. Особенностью лазерного луча является его способность проникать через лиственный покров древесной растительности. Импульсный лазер оптически совмещен с главным лепестком диафрагмы направленности антенны, которая сканирует лазерным лучом полосу местности, обычно в направлении полета самолета. Время отражения лазерного луча от земли и лесной растительности измеряется и приводится к скорости света. Положение самолета при каждом измерении фиксируется с помощью GPS. Вычисляют векторные значения от самолета до земли и получают истинные координаты точек отражения на поверхности земли и различных частей деревьев. Ширина сканируемой полосы местности (за один проход) зависит от угла сканирования лазерного дальномера и высоты полета самолета. Обычно скорость самолета составляет от 200 до 250 километров в час (55-70 метров в секунду), а высота от 300 до 3000 метров, угол сканирования может достигать 20 градусов, частота излучения от 2000 до 25000 импульсов в секунду. Навигационное обеспечение осуществляется за счет использования бортового GPS, синхронно работающего с наземной базовой станцией. Материалы съемки могут обрабатываться как на борту вертолета (самолета), так и в камеральных условиях с помощью специальных программ, позволяющих получать геометрические параметры отдельно стоящих деревьев и реально читаемые морфоструктурные характеристики полого древостоя по всему маршруту съемки. Изображение представляется в трехмерном виде. Поэтому пользователи могут работать с материалами фото- и видеосъемки, цифровой моделью и базой данных в наиболее удобных режимах. В силу своих особенностей лазерные системы применяют для построения профилей рельефа на территориях, закрытых лесами. Они эффективны при обследовании линий электропередачи. Линейное разрешение лазерных систем значительно уступает фотографическим системам.

### 13.4. Радиоволновые съемочные системы

Использование радиоволн в качестве носителей информации об объектах земной поверхности привело к созданию радиофизических съемочных систем. Их разделяют на два класса: использующие метод активной радиолокации и регистрирующие собственное излучение объектов. Из систем, относящихся к первому классу, наибольшее применение получили радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО). В основе их работы заложены принципы радиолокации. Генератор, установленный на борту летательного аппарата, вырабатывает радиоволны определенной длины, амплитуды, поляризации. С помощью антенны радиоизлучение направляется на земную поверхность. Длины радиоволн, используемые при съемке, находятся в диапазоне от 1 см до 1 м и более. Режим излучения может быть непрерывным или импульсным.

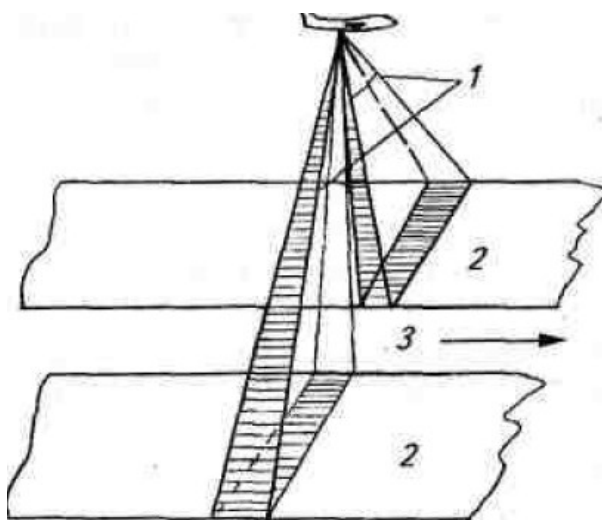


Схема съемки с помощью РЛС БО

После взаимодействия с объектами поверхности происходит модулирование несущего сигнала, изменяются его исходные характеристики. Отраженный модулированный сигнал воспринимается приемной антенной. Принятые сигналы после усиления поступают на экран, где происходит построчная визуализация результатов радиолокации. Яркость изображения объекта зависит от энергии возвратившегося сигнала. Первичная обработка результатов съемки выполняется на борту летательного аппарата или на Земле. Продольное разрешение зависит от размера антенны или частоты используемых радиоволн. Усовершенствованные радиолокационные станции позволяют получить разрешение по полю снимка с самолета до 5 м, при съемке из космоса – до 20 м.

Преимущество радиолокационных съемок – их независимость от погодных условий и степени освещенности местности. Снимать можно при сплошной облачности, туман и даже дождь, поэтому РЛС-съемку называют «всепогодной». Современные технологии обработки снимков делают возможным использование РЛС-снимков для картографических целей. Для условий России, особенно в северных ее широтах, где большую часть времени года присутствует облачность, этот фактор во многих случаях может быть решающим при выборе вида съемки при равных характеристиках в пользу радиолокационной. Радиолокационную съемку применяют для изучения водных поверхностей, определения границ береговых линий, овражной сети, зон подтопления, состояния посевов и т.д.

Основываясь на анализе данных различных исследований, можно полагать, что радиолокационные съемки позволяют получать значительную часть дополнительной информации, необходимой органам лесного хозяйства для ведения мониторинга лесов. К ней можно отнести: данные о рельефе местности; высоте леса; биомассе; увлажненности почв на не покрытых и покрытых лесом и нелесных землях; глубина залегания грунтовых вод; глубина снега; зона вечной мерзлоты; более полная характеристика лесоболотных комплексов; оценка степени осушения территории в результате проведения гидроресомелиорации (осушения); зоны подтопления, заболачивания; выявление пораженных или угнетенных участков леса по содержанию воды в листьях и хвое на основе диалектической проницаемости; наличие подроста и подлеска под пологом леса.

Применение радиоволн в качестве носителя информации об объектах земной поверхности привело к созданию радиофизических съемочных сетей. Их разделяют на два класса. 1<sup>ый</sup> - использование метода активной радиолокации и 2<sup>ой</sup> регистрация собственного излучения объектов. К первому классу относятся радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО) – принцип работы радиолокация. Генератор, установленный на борту ЛА передает радиоволны определенной длины, амплитуды, поляризации. С помощью антенны радиоизлучение отправляется на земную поверхность. Режим излучения может быть непрерывным или импульсивным. После взаимодействия с объектами поверхности происходит модулирование несущего сигнала, изменяются его исходные характеристики. Степень модулирования определяется физическими и химическими свойствами объекта. Отраженный модулированный сигнал воспринимается приемной антенной. Яркость изображения зависит от энергии возвратившегося сигнала. Результаты съемки – непрерывная полоса радиолокационного изображения. Разрешение РЛС БО уступает фотографическому. Преимущество – не зависит от погодных условий поэтому РС называют «всепогодной».

### 13.5. Сверхвысокочастотная радиометрия

Сверхвысокочастотная радиометрия относится к пассивным методам исследования поверхности Земли. Выполняют ее с помощью СВЧ-радиометров, измеряющих собственное излучение объектов в спектральном интервале 0,15...30 см в нескольких каналах. Линейное разрешение СВЧ-радиометров в зависимости от типа прибора может быть от нескольких метров до десятков километров и более. Достоинство СВЧ-съемки формирование воспринимаемого радиометрами сигнала в глубине снимаемого объекта и возможность передачи информации о глубинных процессах. Микроволновая съемка менее чувствительна к изменению метеорологических условий, смене дня и ночи по сравнению с тепловой съемкой.

### 13.6. Заключение

Для длительного наблюдения за поверхностью Земли лучше всего подходят КЛА. Для проведения съемок в ограниченных условиях хорошо подходят вертолеты и беспилотные летательные аппараты. В иных случаях, основываясь на сравнительной таблице, самолеты являются более эффективными летательными средствами для проведения съемок.

В фотографических системах электромагнитное излучение регистрируют на черно-белых или цветных фотографических пленках. На фотографических снимках информация об исследуемых объектах записывается в виде оптических плоскостей (или цвета), соответствующих яркостям элементов поверхности Земли. В нефотографических системах кодом изображения служит сигнал, возникший в приемнике излучения, который пропорционален излучению, поступившему от элемента объекта съемки. Аналоговый сигнал преобразуется в цифровой вид. Фотографические съемочные системы являются неоперативными, так как для доставки экспонированной пленки требуется посадка летательного аппарата или сброс на Землю специального контейнера. Сейчас фотографические съемочные системы еще используются, хотя они во многом проигрывают остальным. Вскоре, я считаю, они исчезнут вовсе. Нефотографические системы относят к оперативным. С их помощью информация передается по радиоканалу в реальном времени съемки или записывается на магнитном носителе с последующей передачей в эфир. Нефотографические съемочные системы отличаются от фотографических тем, что в них для регистрации электромагнитного излучения применяют иные сенсоры и другие способы передачи изображения. Нефотографические системы работают с целью расширения технических возможностей аэро- и космических методов изучения земной поверхности. Съемочные системы, установленные на космических летательных аппаратах, позволяют получать информацию о процессах, проходящих на Земле в реальном или близреальном времени. Специфика космических полетов потребовала конструирования съемочных систем специального вида: компактных, малой массы и энергопотребления, надежных в работе, с возможностью передачи без искажения информации на пункт приема непосредственно в процессе съемки и т.д. Съемочные системы, применяемые при космических съемках, успешно используют в съемочном процессе с самолетов и вертолетов. Развитие технических средств дистанционного зондирования Земли из космоса идет по двум взаимодополняющим направлениям. Первое из них основано на фотосъемке земной поверхности в видимой и ближней ИК областях спектра и доставке отснятых фотопленок на Землю при посадке спускаемого аппарата космического корабля либо в сбрасываемых контейнерах. К фотографированию земной поверхности приступили еще в начале 60-х гг. службы систем национальной безопасности СССР и США. В наземных условиях производятся фотохимическая обработка фотопленки и изготовление съемочной продукции. Данные съемочные материалы предназначены для решения задач, не требующих оперативного принятия решений, например, для инвентаризации и картографирования лесов. Это направление в России обеспечивали до конца XX столетия автоматические (беспилотные) ИСЗ серии «Ресурс-Ф». Второе направление исследования природных ресурсов Земли из космоса связано с беспилотными оперативными ИСЗ. Они обеспечивают проведение съемок в видимом, инфракрасном и радиодиапазонах электромагнитного спектра нефотографическими съемочными средствами и передачу полученной информации со спутников по радиоканалам в оперативном режиме, в том числе в режиме реального масштаба времени, на наземные пункты приема информации, где производится ее оперативная обработка и доставка потребителям. Информация предназначена как для исследования быстротекущих процессов на поверхности Земли (например, обнаружение лесных пожаров, повреждение лесов насекомыми-вредителями и пр.), так и для решения задач, связанных с разносторонним изучением природных ресурсов (например, учет текущих изменений в лесном фонде, инвентаризация и картографирование лесов и т.п.). Таким образом, проанализировав разновидности летательных аппаратов, необходимых для проведения аэрофотосъемок, на основе сравнительной таблицы, я пришел к выводу, что самым эффективным летательным аппаратом для проведения фотосъемок оказался самолет. В совокупности со сканирующими оптико-электронными системами, самолет, может производить высокоточную съемку поверхности земли и в режиме реального времени передавать полученные данные по радиоканалу на наземные пункт. Это делает образовавшийся тандем востребованным всегда, делая его оперативным, но в то же время пригодным для повседневного использования.

## ГЛАВА 14 ПОНЯТИЕ О ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ.

В последние годы бурно развиваются компьютерные средства сбора и обработки информации. Например, уже получили большое распространение геоинформационные технологии, ассоциирующиеся у большинства людей с использованием программных продуктов, относящихся к географическим информационным системам (ГИС). Но наряду с ними, в эти области активно внедряются информационные технологии, имеющие отношение к обработке пространственной информации: методы глобального спутникового позиционирования (GPS), методы связанные со сбором информации в поле, на местности, с помощью портативных компьютеров, методы, использующие дистанционное зондирование Земли из космоса или с самолетов. С переносом всех основных операций по обработке и использованию данных съемок на компьютеры появились специализированные пакеты для работы с данными дистанционного зондирования.

Дистанционное зондирование – это технология, которая требует специфических возможностей обработки, таких как многоспектральная классификация, геометрическое трансформирование и географическая привязка изображений. До 1992 года технология больше рассматривалась как научно-исследовательская и поэтому некоторым образом отделялась от быстро растущего рынка ГИС технологий. В то же время и фотограмметрия (техника получения топографической информации по стерео изображениям) переводилась в цифровую форму. Одна особенность является общей для этих трех областей (дистанционного зондирования, ГИС и фотограмметрии) – это обязательное требование иметь географически привязанную информацию. Те, кто в своих проектах опирается на все три выше указанные технологии, программное обеспечение должны заказывать у разных поставщиков. Для цифровой обработки снимков используется целый ряд специализированных программных продуктов, выпущенных как российскими производителями (Талка, Photomod, Z-Spase 29 и т.д.), так и зарубежными (TNT Professional, Leika, Interdrapp, Tobin, PCI, ER Mapper, RolleiMetric и проч.). В настоящее время фотограмметрические пакеты становятся частью ГИС. Цифровая фотограмметрия опирается на успехи в развитии цифровых камер, процессоров с параллельной обработкой данных, достижений в области построения систем искусственного интеллекта. Важна роль цифровой корреляции изображений, так

*Мировым лидером* в разработке программного обеспечения для работы с данными дистанционного зондирования (в основном речь идет об информации, получаемой со спутников) является компания ERDAS (Earth Resources Data Analysis System). Первоначально основным источником данных (до 90%) во всех работах были съемки видеокамерами. С приходом самолетных цифровых сенсоров и систем качественного сканирования обычных аэроснимков, аэрофотосъемка также стала частью дистанционного зондирования.

С реализацией версии ERDAS Imagine 8.1 первая полнофункциональная ГИС с использованием данных дистанционного зондирования стала реальностью. Программное обеспечение ERDAS Imagine органично соединяет цифровую фотограмметрию, дистанционное зондирование, пространственный анализ и картографирование в векторном формате в одном пакете, который работает как на персональных компьютерах, так и на UNIX рабочих станциях.

Область применения программных продуктов ERDAS охватывает различные сферы деятельности, особый интерес представляет разведка, добыча и эксплуатация месторождений нефти и газа. Основные задачи – площадное картирование по данным съемок и геологическая интерпретация аэро и космических изображений, решаемые с помощью следующей комплектации продуктов Imagine: Advantage или Professional, как базовые комплекты, с дополнительными модулями OrthoMAX, Radar и Virtual GIS. Основными пользователями являются нефтяные и газовые компании, организации по разведке и добыче полезных ископаемых, по строительству и эксплуатации трубопроводов.

В целом, любые организации, занимающиеся тематическим и топографическим дешифрированием и картированием с использованием данных космических и аэросъемок – потенциальные пользователи программного обеспечения ERDAS Imagine. Это программное обеспечение может применяться в любой прикладной области, обеспечивая полный цикл использования данных дистанционного зондирования, начиная от предварительной коррекции и трансформирования снимков до создания по ним топографической продукции и географических информационных систем.

### IMAGINE Essentials

Essentials – это ядро линии продуктов IMAGINE, представляет собой недорогой продукт для картографирования. Essentials позволяет интегрировать многие растровые форматы (такие, как GeoTIFF, ESRI GRID, ER Mapper и многие другие) наряду с векторной ГИС информацией в единую среду для управления и работы с этими данными.

### IMAGINE Advantage

Imagine Advantage дополняет функциональность Essentials, представляя расширенные функции картирования, обработки изображения и ГИС анализа. Дополнительные функции: ортотрансформирование

- возможности геометрического моделирования расширены, включены геометрические модели сенсоров (стандартные аэрофотокамеры, SPOT и LANDSAT);

- задание элементов внутреннего ориентирования и параметров камеры: координат главной точки, фокусного расстояния, координатных меток;

- задание или автоматическое определение поправки элементов внешнего ориентирования: углов отклонения

главного луча от надира и координат центра проектирования;

- учет кривизны Земли;
- задаваемое пользователем число итераций;
- задание выходной проекции;
- сбор опорных точек с карты, снимка, векторного слоя, клавиатуры;
- использование полных (x,y,z) опорных точек.

Имеются средства для генерализации поверхностей – Surface Generation (интерполяция на регулярную модель рельефа). Этот инструмент позволяет получать регулярную цифровую модель из точек с отметками высот и изолиний рельефа в векторном виде и других видов данных. Расширенные функции мозаики позволяют сливать различные виды взаимноориентированных аэро и космических изображений в одно. На выходе мозаики могут быть получены: единый большой файл, несколько файлов с произвольными границами или серии листов в заданной системе разграфки. Для выравнивания контраста сливаемого изображения используются различные алгоритмы, линии сшивки определяются автоматически или вручную по произвольной линии или с использованием объектов векторной карты в формате ARC/INFO. Для зон перекрытия могут быть выбраны различные варианты вычисления значений результирующих пикселей.

Модуль расширения OrthoMAX представляет собой высокопроизводительную цифровую фотограмметрическую систему. Основным ее назначением является построение цифровых моделей рельефа и выполнение ортофототрансформирования. Также возможно проведение фототриангуляции, как в пределах одиночного снимка, так и по целому их блоку.

Фотограмметрическая подсистема OrthoMAX обеспечивает оптимальный подход к организации процесса обработки данных, благодаря своему удобному интерфейсу. Тем самым методы цифровой фотограмметрии становятся доступными даже тем категориям пользователей, которые не имеют специального фотограмметрического образования. Даже новички, используя систему OrthoMAX, могут получить высококачественные результаты, а для опытных пользователей имеется много расширенных возможностей, которые позволяют увеличить производительность и качество работы в сложных ситуациях. Программа позволяет работать с различными типами данных, с большим количеством снимков и можно задавать необходимую точность выходного материала. Это позволяет гибко ориентировать работу на выполнение конкретно поставленных задач. Высокоэффективные алгоритмы, используемые для учета особенностей геометрии сенсора, выполнения триангуляции, построения цифровой модели рельефа (ЦМР) и ортотрансформирования, позволяют достичь субпиксельной точности. ЦМР могут собираться как в полуавтоматическом, так и в интерактивном режиме. ЦМР может быть получена как в виде регулярной модели рельефа (растра), так и в виде нерегулярной триангуляционной сети (TIN). Полученная ЦМР может наблюдаться и редактироваться в стереоскопическом режиме.

Ортооткорректированное изображение, будь то космические или аэрофотоснимки, являются столь же точным материалом для измерения, что и карта и свободно от значительных искажений, связанных с рельефом местности. Это означает, что при выборе фокусного расстояния АФА ( $f$ ) известной формулой:

$$\delta r = \frac{h}{mf} \times r, \quad (14.1)$$

можно не руководствоваться. Это устраняет также проблемы стыковки по краям снимков при построении мозаики. Непосредственно в процессе ортотрансформирования можно задавать размер пиксела и выбрать нужный участок. Оно может производиться как с использованием регулярной модели, так и типа TIN. 4.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6. Какую съемку называют плановой ?
7. Какую съемку называют перспективой?
8. Что входит в техническое задание плановой аэрофотосъемки?
9. От чего зависит масштаб фотографирования?
10. Для чего планируют продольные (P) и поперечные (Q) перекрытия между снимками смежных маршрутов?
  
11. Какие способы изготовления фотосхем применяются в фотограмметрии?
12. Что такое фотосхема?
13. С увеличением размеров территории, площадь которой измеряют по фотосхемам, точность результата будет возрастать. Объясните или опровергните это утверждение.
14. Будут ли одинаковыми расхождения на контролируемых точках при изготовлении контроля при изготовлении фотосхемы с одних и тех же снимков разными методами?
15. При оценке качества изготовления фотосхемы, что является предпочтительнее дублет или вырез и почему?
16. На каком этапе человек может активно влиять на качество получаемого изображения.
17. От чего зависит фотографическое качество.
18. Что называется накидным монтажем.
19. С какой целью оценивается фотограмметрическое качество полученных снимков.
20. По каким показателям оценивается качество материалов аэрофотосъемки?
21. Какие существуют способы построения плановой фототриангуляции?
22. Что является редуцией снимка?
23. Какой снимок называется трансформированным?
24. Что такое одномаршрутная фототриангуляция?
25. Что из себя представляют графические сети?
26. Перечислите способы проверки поперечных сечений выработок
27. Что такое фотоконтурный метод съемки?
28. Что позволяет обеспечить применение фотоконтурного метода съемок выработки?
  
29. Перечислите элементы внутреннего ориентирования
30. Для чего при установке фотокамеры ее оптическая ось устанавливается по нормали к объекту съемки и соблюдаются условия вертикальности фотопленки и горизонтальности оптической оси камеры?
31. Для чего производят масштабирование снимка на выбранные расстояния съемки?

Библиографический список:

1. Лобанов А.Н. Фотограмметрия 2-е изд., переработанное. М.: Недра, 1984, 552с.
2. Бруевич П.Н. Фотограмметрия. М. : Недра, 1990, 285с.
3. Инструкция по дешифрированию аэроснимков и фотопланов масштаба 1:10000. Мн.: 1999.
4. Обиралов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. Фотограмметрия. Учеб. пособие для средних специальных учебных заведений. – М.: Изд-во «Колос», 2002, 240с.
5. Могильный С.Г., Беликов И.Л., Ахонина Л.И. Фотограмметрия (учебник для ВУЗов). Киев-Донецк: М.: Вища школа, 1985, 302с.
6. Инженерная геодезия (учебник для ВУЗов). Багратуни В.Г., Ганьшин В.Н., Данилевич Б.Б. 3-е изд. переработанное и дополненное. М.: Недра, 1984.
7. Обзорная информация Маркшейдерские фотоконтурные съемки горных выработок 2-й выпуск. М.: 1990, 59с.
8. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 М. : Недра, 1985. 152с.
9. [А. А. Панжин](#), Б. П. Голубко [http://geomech.narod.ru/articles/paa\\_003/](http://geomech.narod.ru/articles/paa_003/)

## ГЛОССАРИЙ

№ п/п	Новые понятия	Содержание
1	аэрофотоаппарат	Фотографический аппарат применяемый при съемке с летательного аппарата.
2	аэроснимок	Фотографический снимок сделанный с летательного аппарата
3	опознаки	Геодезические координаты точек местности, изобразившихся на снимках.
4	коллинеарность	отношение параллельности векторов: два ненулевых вектора называются



		коллинеарными, если они лежат на параллельных прямых или на одной прямой.
5	Смаз изображения	Смаз, это нечёткий, нерезкий снимок
6	наколы	Наколы это точечные впадины размером 1—2 мм, возникают в результате прокалывания иглой одинаковых точек на фотографиях.
7	фототриангуляция	Фототриангуляция метод определения координат точек местности по фотоснимкам. Назначением фототриангуляции является сгущение геодезической сети с целью обеспечения снимков опорными точками, необходимыми для составления топографической карты, и решения ряда инженерных задач.
8	Ортофототрансформирование	Ортофототрансформирование (топографического фотоснимка) процесс фотограмметрической обработки топографического фотоснимка, целью которого является преобразование топографического фотоснимка из исходной проекции в ортогональную
9	гиростабилизирующей установкой	гиростабилизирующие установки (во время аэрофотосъемки) обеспечивают условие необходимого отклонения оптической оси от вертикали в пределах от 15-30´ до 3°