

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

## ПРИКЛАДНАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальности

1-56 02 01 «Геодезия»

Составление и общая редакция  
А. А. Михеевой, В. В. Ялтыхова

Новополоцк 2006

УДК 528.48(075.8)

ББК 26.12я73

П 75

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

А. Ф. БОРУН, начальник Полоцкого геодезического центра РУП «Белгеодезия»;  
В. В. ЖИЛЯЕВ, главный инженер Полоцкого геодезического центра РУП «Белгеодезия»;  
В. П. ПОДШИВАЛОВ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой  
прикладной геодезии и фотограмметрии

Рекомендован к изданию советом геодезического факультета

**П 75 Прикладная фотограмметрия** : учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-56 02 01 «Геодезия» / сост. и общ. ред. А. А. Михеевой, В. В. Ялтыхова. – Новополоцк : ПГУ, 2006. – 320 с.  
ISBN 985-418-478-1

Разработан на основе универсальной модели согласно действующему в настоящее время образовательному стандарту РД РБ 02100.5.201-98. Приведены темы изучаемого курса с указанием объема в часах лекционных и лабораторных занятий, самостоятельной работы студентов. Кратко изложены теоретические основы прикладной фотограмметрии, приводятся глоссарий, литература. Представлены задания, методические указания к выполнению курсовой и лабораторных работ, вопросы для самоконтроля.

Предназначен для студентов геодезического факультета.

**УДК 528.48(075.8)**

**ББК 26.12я73**

ISBN 985-418-478-1

© УО «ПГУ», 2006

© А. А. Михеева, В. В. Ялтыхов, составление, 2006

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время составление и обновление топографических карт в подавляющем большинстве случаев выполняется фотограмметрическими методами, что способствует сокращению полевых работ и увеличению производительности труда. Кроме того, в последние годы все более широкое применение в различных видах инженерных изысканий, при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений получают методы фотограмметрии, которые обеспечивают ведение всех основных проектно-изыскательских работ на наиболее высоком уровне механизации и автоматизации производства, повышают качество, производительность и обоснованность проектирования, снижают его сроки и стоимость. В последнее время в фотограмметрии широко применяются цифровые методы. В связи с этим возрастают требования к подготовке инженерно-технических работников в области фотограмметрии.

*Цель преподавания дисциплины* – дать необходимые знания в области фотограмметрии, развить у студентов способность применять полученные знания на производстве.

Курс «Прикладная фотограмметрия» базируется на знании основ физики, математики, аэрофотографии, теории математической обработки геодезических измерений, вычислительной техники.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины «Прикладная фотограмметрия» для специальности Т.21.01.01  
«Геодезия» специализации «Прикладная геодезия»

Виды занятий, формы контроля знаний	Д		З	
	П	С	П	С
Курс	4		3,4	
Семестр	7,8		6,7	
Лекции, ч	52		16	
Экзамен (семестр)	7,8		7	
Зачет (семестр)	7		6	
Практические (семинарские), ч	—		—	
Лабораторные занятия, ч	52		16	
Расчетно-графические работы (семестр)	—		—	
Контрольные работы (семестр)	—		6,7	
Курсовая работа (семестр/часы)	8/12		7/7	
Курсовой проект (семестр/часы)	—		—	
Управляемая самостоятельная работа (часы)	75		147	

## 1. Лекционный курс

№ п/п	Наименование разделов и тем лекций и их содержание	Число часов			
		Д		З	
		П	С	П	С
1	2	3	4	5	6
<b>Семестр</b>		<b>7</b>		<b>6</b>	
	<b>Раздел 1. Введение. Оптические основы центрального проектирования</b>				
1.	Предмет и задачи курса, связь прикладной фотограмметрии с другими дисциплинами. Краткий исторический очерк развития фотограмметрии. Применение прикладной фотограмметрии в различных областях народного хозяйства	2		0,5	
2.	Построение изображения идеальной оптической системой	0,5			
3.	Построение изображения наклонной плоскости	0,5			
4.	Построение изображения пространства в фокальной плоскости	0,5			
5.	Аэрофотоаппараты	0,5		0,5	
	<b>Раздел 2. Аэросъемка</b>				
1.	Расчет плановой аэросъемки (масштаб фотографирования, базисов фотографирования, продольного и поперечного перекрытий, интервала фотографирования)	1		0,5	
2.	Фотографические материалы и их характеристики. Источники ошибок аэроснимка	0,5			
3.	Основные технические характеристики, предъявляемые к аэросъемке и контроль за их выполнением	0,5			
	<b>Раздел 3. Основы проективной геометрии</b>				
1.	Проективные пространства	1			
2.	Перспективные и аффинные преобразования. Элементы центральной проекции. Построение перспективных изображений.	2		1	
3.	Аналитическое представление проективных и перспективных преобразований	1			
	<b>Раздел 4. Одиночный аэроснимок и его использование</b>				
1.	Элементы ориентирования одиночного снимка	0,5		0,5	
2.	Системы координат снимка и местности. Связь координат перспективно-сопряженных точек снимка и местности.	1,5			
3.	Масштабы изображений в различных частях наклонного снимка	1			
4.	Смещение точек на снимке из-за угла наклона и рельефа местности	1			
5.	Искажение направлений на аэроснимке из-за угла наклона и рельефа местности	1,5			
6.	Графическая фототриангуляция	0,5			
	<b>Раздел 5. Фотосхемы и фотопланы. Дешифрирование аэроснимков</b>				
1.	Фотосхемы и их назначение. Монтаж фотосхем, их измерительные и изобразительные свойства	1			

1	2	3	4	5	6
2.	Общие понятия о трансформировании снимков. Геометрические и оптические условия трансформирования. Устройство фототрансформаторов. Трансформирование снимков по ориентирующим точкам и установочным данным. Трансформирование снимков по зонам. Монтаж фотоплана и его оценка точности	4		1	
3.	Задачи дешифрирования. Дешифровочные признаки. Способы дешифрирования. Приборы для дешифрирования	1		0,5	
<b>Раздел 6. Теория пары снимков</b>					
1.	Стереоскопическое зрение, его особенности. Искусственный стереоэффект, способы его получения. Принцип стереоскопических измерений	1		0,5	
2.	Зависимость между продольными параллаксами и превышениями	1		1	
3.	Зависимость между координатами точек местности и аэроснимка, горизонтального и наклонного снимков	2		2	
4.	Связь между продольными параллаксами на горизонтальном и наклонном снимках. Устройство стереометра. Ориентирование снимков на стереометре	2			
Итого:		28		8	
<b>Семестр</b>		<b>8</b>		<b>7</b>	
<b>Раздел 7. Взаимное и внешнее ориентирование снимков</b>					
1.	Теория взаимного ориентирования. Условия взаимного ориентирования. Уравнения взаимного ориентирования. Определение элементов взаимного ориентирования по измерениям поперечных параллаксков. Стереокомпаратор	4		2	
2.	Внешнее ориентирование модели	1		0,5	
3.	Определение элементов внешнего ориентирования по опорным точкам	1		1	
4.	Приборы для определения элементов внешнего и взаимного ориентирования (радиогеодезические станции, система GPS, радиовысотомер, статоскоп, гиросtabilизирующая установка). Определение элементов взаимного ориентирования по показаниям приборов, установленных на борту самолета	2		1	
<b>Раздел 8. Универсальные стереофотограмметрические приборы</b>					
1.	Классификация универсальных приборов. Принципиальные схемы и теория стереопроектора Романовского и стереографа Дробышева	2		0,5	
2.	Взаимное ориентирование на универсальных приборах	0,5			
3.	Внешнее ориентирование модели на универсальных приборах	1			
4.	Составление топографических карт на универсальных приборах	0,5			

Окончание

1	2	3	4	5	6
	<b>Раздел 9. Пространственная фототриангуляция</b>				
1.	Построение сетей пространственной фототриангуляции на универсальных приборах	2			
2.	Аналитическая пространственная фототриангуляция	2		2	
	<b>Раздел 10. Методы создания и обновления топографических карт различных масштабов</b>				
1.	Выбор фокусного расстояния и высоты полета. Требования к объему и расположению точек планового и высотного обоснования	1		0,5	
2.	Технологические схемы создания карт	0,5		0,5	
3.	Обновление карт	0,5			
	<b>Раздел 11. Методы цифровой фотограмметрии</b>				
1.	Цифровые изображения (аналоговая и цифровая формы, векторная и растровая модели), система координат растрового изображения. Основные характеристики ЦИ	2			
2.	Фотометрические и геометрические преобразования цифрового изображения. Обработка одиночного снимка, Ортотрансформирование (технология создания ортофотопланов)	2			
3.	Применение фотограмметрических материалов при изысканиях строительных площадок и трасс линейных сооружений и геоинформационных системах	2			
	Итого:	24		8	

## 2. Лабораторные занятия

№ п/п	Наименование лабораторной работы	Число часов			
		Д		З	
		П	С	П	С
<b>Семестр</b>		<b>7</b>		<b>6</b>	
1.	Оценка фотограмметрического качества залета по накладному монтажу	2		2	
2.	Определение масштаба снимка и высоты фотографирования	2			
3.	Монтаж фотосхемы	2			
4.	Устройство универсального топографического проектора УТП-2 и подготовка к работе	2		2	
5.	Трансформирование снимков на УТП-2	4		4	
6.	Устройство стереометра и подготовка к работе	2			
7.	Ориентирование снимков на стереометре	6			
8.	Рисовка рельефа на стереометре	8			
	Всего:	28		8	
<b>Семестр</b>		<b>8</b>		<b>7</b>	
1.	Устройство и поверки универсальных приборов	2		1	
2.	Подготовительные работы	2		1	
3.	Составление участка топографической карты на универсальных приборах	10		6	
4.	Взаимное ориентирование снимков	6			
5.	Геодезическое ориентирование снимков	4			
	Всего:	24		8	

### 3. Курсовая работа, ее характеристика

Перечень разделов курсовой работы, их содержание	Часы	
	Д	З
<b>Тема: Аэрофототопографический метод создания карт и планов</b>		
1. Выбор способа аэрофототопографической съемки. Выбирается в зависимости от масштаба создаваемой карты, физико-географических условий района работ и др. факторов	1	1
2. Расчет высоты сечения рельефа. Высота сечения рельефа устанавливается в зависимости от масштаба создаваемой карты, преобладающих углов наклона местности и назначения карты или плана	1	1
3. Выбор масштаба залета, фокусного расстояния аэрофотоаппарата и числа плановых и высотных опознаков. Эти параметры выбираются в зависимости от метода составления карт, их точности и способов фотограмметрического сгущения геодезического съемочного обоснования	3	3
4. Расчет аэросъемки. Расчет выполняют на основании выбранной величины фокусного расстояния аэрофотоаппарата и масштаба фотографирования	2	2
5. Дешифрирование. Способ дешифрирования выбирается в зависимости от масштаба создаваемой карты и физико-географических условий района работ	1	1
6. Проект фотограмметрических работ. Составляется в зависимости от метода составления карт и способа фотограмметрического сгущения, обосновывается целесообразность использования тех или других приборов, методика обработки снимков.	4	4
<b>Итого:</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

### 4. Управляемая самостоятельная работа студента

№ п/п	Перечень разделов, их содержание	Часы	
		Д	З
1	2	3	4
1.	Изучение теоретического материала	4	42
2.	Расчет объемов летно-съемочных работ	2	2
3.	Определение зоны допустимых искажений из-за наклона снимка и рельефа местности		4
4.	Проверка выполнения оптических и геометрических условий при трансформировании		4
5.	Устройство и классификация фототрансформаторов	4	
6.	Определение поправок за рельеф при трансформировании снимков по зонам и расчет числа зон	4	
7.	Дешифрирование снимков	4	4
8.	Оформление результатов трансформирования снимка	4	4
9.	Стереоскопическое зрение. Принцип стереоизмерений	4	
10.	Оформление результатов ориентирования и рисовки рельефа на стереомере	6	

Окончание

1	2	3	4	
11.	Определение элементов взаимного ориентирования по измеренным поперечным параллаксам		4	
12.	Обработка результатов построения сети фототриангуляции	8	8	
13.	Вывод формул и вычисление элементов взаимного ориентирования снимков по измеренным на стереокомпараторе поперечным параллаксам	6	6	
14.	Вычерчивание результатов составления карты на универсальном приборе	4	4	
15.	Расчет величин децентраций при обработке снимков на УП	4	4	
16.	Вычисление координат точек местности по измерениям фототеодолитных снимков		4	
17.	Определение объемов земляных работ по измерениям фототеодолитных снимков		4	
18.	Цифровые камеры	5		
19.	Фотограмметрические сканеры	6		
20.	Цифровые фотограмметрические станции	6		
21.	Получение 3-d моделей по материалам АФС	4		
22.	Ответы на вопросы контрольных работ		45	
		Итого:	75	147



# **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

# ЧАСТЬ 1

## 1. ВВЕДЕНИЕ. ОПТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Термин «фотограмметрия» происходит от греческих слов: fotos – свет; gramma – запись; metro – измеряю. Фотограмметрия определяет формы, размеры и положения предметов в пространстве по их фотографическим изображениям.

Все то, что можно сфотографировать, может быть предметом фотограмметрических измерений. Фотограмметрические методы применяются в астрономии, археологии, архитектуре, медицине, геологии, лесном деле и других областях. Наибольшее же применение фотограмметрия получила в геодезии, где объектом фотографирования является местность, по фотоснимкам которой создаются планы и карты. Этот раздел фотограмметрии получил название фототопографии. Фототопографические методы создания карт и планов способствуют сокращению полевых работ, увеличению производительности, делают их минимально зависимыми от климатических и физико-географических условий местности.

Создание топографических карт масштабов 1:2000 и мельче в подавляющем большинстве выполнено фотограмметрическими методами.

В некоторых случаях фотограмметрические методы являются единственно возможными для получения карт: съемки взволнованной поверхности морей и океанов, картографирование других планет, труднодоступные территории.

### История развития фотограмметрии

Измерительную фотографию, т.е. фотограмметрию, можно назвать и измерительной перспективой, так как фотографическое изображение представляет собой изображение перспективное. Таким образом, развитие фотограмметрии связано с историей развития теории перспективы и фотографии.

Основание для построения перспективных изображений было положено в средние века (XV – XVI вв.). Перспективное изображение получается при рассматривании предмета через отверстие и прозрачную пластинку камеры. К средним векам относится также и открытие способа обратного перспективного изображения при помощи камеры – обскуры (от латинского *obscurus* – темный). Световые лучи, идущие от предметов, проходят через круглое отверстие в передней стенке камеры и на противоположной отверстию стенке дают обратное перспективное изображение, ко-

торое можно получить графически на бумаге, прикрепленной к стенке. Для увеличения резкости применялась линза.

Дальнейшие работы над усовершенствованием камеры – обскуры привели к созданию переносной камеры – клары (светлой камеры). В камере имеется зеркало, установленное под углом  $45^\circ$  к оптической оси линзы. Предмет может изобразиться на доске, расположенной под камерой. Его можно зарисовать на бумаге, прикрепленной к доске. В 1791 – 1792 гг. французский ученый гидрограф Ботан-Бопре во время научной экспедиции получил при помощи камеры – клары перспективное изображение береговой полосы острова Санта-Круц и использовал этот материал для составления плана. Этот очень кропотливый и неточный способ построения перспективных изображений не мог получить широкого применения.

Задолго до применения фотографии были решены две основные задачи будущей фотограмметрии: прямая – построение перспективного изображения местности и обратная – построение плана местности по ее перспективным изображениям. Не хватало только фотографического способа фиксации перспективных изображений.

Первые фотоснимки были получены в 1839 г. Дагером (Франция) и Тальботом (Англия). Первое указание на применение фотоснимков для составления топографических карт принадлежит французскому физическому астроному и геодезисту Арго и относится к 1840 году.

В 1849 г. Лосседа, офицер корпуса инженеров французской армии, пытался теоретически доказать, что фотоснимки могут быть с успехом использованы для составления топографических карт. Он впервые использовал фотографию для наземной фотосъемки, сконструировав в 1859 г. для этой цели специальный аппарат. Полковник Лосседа с полным правом может быть назван основателем фотограмметрии.

В 1851 г. опубликован способ получения фотографического изображения, известный под названием мокроколлоидного процесса, при котором светочувствительный слой изготовлялся и наносился на стеклянную пластинку непосредственно перед фотографированием, а экспонирование пластинок и их проявление производилось при мокром состоянии светочувствительного слоя, поэтому пользовались полевой фотолабораторией.

В 1858 г. во Франции был проведен опыт по фотографированию местности с привязанного аэростата. При этом снимок оказался в пятнах от действия газа, выделяемого из аэростата, на мокрый светочувствительный слой пластинки. Поэтому дальнейшее развитие воздушной съемки прекратили и возобновили только через столетия.

В 1871 г. были изобретены пластинки с сухим светочувствительным слоем, изготавливаемые фабричным способом. Широкое внедрение таких пластинок началось с 1873 г. и к 1882 г. они вытеснили мокроколлоидные.

А в 1889 г. появилась возможность использования в качестве подложки для эмульсии не только стеклянных пластинок, но и целлулоидной пленки.

К концу XIX в. были созданы фотографические объективы, удовлетворяющие требованиям фотограмметрических съемок, и с этого времени работы по применению фотоснимков для создания топографических карт широко ведутся в разных странах. Фотографирование местности производилось в основном с привязанных аэростатов.

В Германии в 1893 г. доктор Мейденбауер опубликовал статью, в которой впервые употребил слово «фотограмметрия».

В России в конце XIX в. инженер путей сообщения Р. Ю. Тиле с целью фотографирования большей площади с одной станции сконструировал многокамерный аэрофотоаппарат, получивший название панорамографа, при помощи которого была выполнена воздушная съемка на реке Припяти. Аппарат состоял из семи камер, из которых центральная предназначалась для плановой съемки, а шесть боковых – для перспективной. Угол между оптической осью каждой из боковых камер с оптической осью центральной составлял  $60^\circ$ . Поэтому на каждом из боковых снимков изображена линия действительного горизонта, по которой можно определить элементы ориентирования снимков в момент фотографирования. По полученным материалам можно было составить фотоплан и контурный план. Р. Ю. Тиле решил задачи преобразования аэроснимков в планы.

После открытия в 1892 г. Штольцем принципа измерительной марки и последующей разработки доктором Пульфрихом практически осуществимого метода измерения стала применяться стереофотограмметрия. На рубеже двух столетий члены Венского географического института Хубл и Орель разработали: первый – стереокомпаратор, а второй – стереоавтограф. Независимо от этого стереокомпаратор был также изобретен Пульфрихом в Иене в 1901 г. В наше время практически все современные стереофотограмметрические приборы для составления карт по фотоснимкам используют принцип стереофотограмметрии с применением измерительной марки того или иного вида.

В начале XX в. быстро развивается авиация. О первом применении аэроснимков, полученных с самолета для картографических целей, говорилось в 1913 г. в статье капитана Гардиво, представленной на собрание Международного фотограмметрического общества, проходившего в Вене.

Первая мировая война доказала большое значение аэроснимков как для военных, так и для гражданских целей. В годы войны по аэроснимкам составлялись планы расположения позиций противника, которые по точности резко отличались от тех схем, которые до этого изготовлялись на фронте.

Если при фотографировании местности с привязанного аэростата было целесообразно применять многокамерные фотоаппараты, то при съемке с самолета оказалось наиболее удобно фотографировать при отвес-

ном положении оптической оси камеры. Наиболее целесообразным стало применение аэрофотоаппаратов, которые заряжают не пластинками, а пленками.

После первой мировой войны в Европе и Америке были построены более совершенные самолеты, созданы аэрофотоаппараты полного автоматического действия, сконструированы и построены фототрансформаторы и другие фотограмметрические приборы для составления карт. Некоторые из них еще не утратили своего значения и в настоящее время.

### **Виды фототопографических съемок**

Комплекс процессов, позволяющих создать по снимкам карту местности, называют фототопографической съемкой. По методу получения и обработки снимков местности и по характеру создаваемой продукции различают следующие виды съемок:

- 1) контурная;
- 2) комбинированная;
- 3) стереофотограмметрическая аэросъемка или стереотопографическая съемка;
- 4) стереофотограмметрическая наземная съемка или фототеодолитная съемка.

При первых трех видах съемки фотографирование производится с летательных аппаратов, обычно с самолета; при последнем виде съемки фотографирование выполняется с поверхности Земли.

Контурная съемка представляет собой совокупность процессов, в результате выполнения которых получают контурный план (фотоплан) местности. Для этого выполняют аэросъемку с определенным процентом продольного и поперечного перекрытий. Полученные аэроснимки не являются фотографическим планом местности вследствие искажения изображения из-за влияния рельефа местности, отклонения оптической оси аэрофотоаппарата от отвесного положения и других факторов. Для устранения искажений, вызванных наклоном снимка и частично рельефом местности, выполняют трансформирование. Трансформированные аэроснимки монтируют и получают одномасштабное фотографическое изображение местности – фотоплан, который дешифрируют, т.е. раскрывают содержание изображенных на фотоплане объектов. В некоторых случаях на основе дешифрированного фотоплана изготавливают графический план, представляющий собой чертеж с условными знаками без фотоизображения.

При комбинированном методе съемки изготавливают фотоплан способом контурной аэросъемки или графический план контуров местности, а рельеф зарисовывают в поле приемами мензульной съемки. В этом случае комбинируется контурная аэросъемка с мензульной. Методом стереотопо-

графической съемки получают по перекрывающимся снимкам графические планы с горизонталями. Существуют дифференциальный и универсальный способы стереотопографической съемки. В дифференциальном методе создание плана местности выполняют в несколько этапов на различных приборах. В универсальном методе весь комплекс процессов по созданию топографического плана местности выполняют на одном универсальном приборе.

Методом наземной стереофотограмметрической съемки можно также по снимкам получить графический план с горизонталями. В этом случае местность фотографируют фототеодолитом с двух точек, расположенных на поверхности земли. Для создания топографических карт фототеодолитная съемка не получила широкого применения вследствие ее трудоемкости и малой производительности, но она находит все более широкое применение при различных инженерных изысканиях.

Каждый из указанных видов съемки является комплексом различного рода работ: фотографирования местности; геодезических полевых работ; дешифрирования; фотограмметрических и стереофотограмметрических работ.

Изучение контурно-комбинированной съемки входит в курс фотограмметрии, который основан на геометрических свойствах одиночных снимков, а стереотопографической и фототеодолитной съемок – в курс стереофотограмметрии, который основан на геометрических свойствах стереоскопической пары аэроснимков.

Теория фотограмметрии базируется на знании основ оптического проектирования, аэрофотосъемки, проективной и аналитической геометрии.

### **Оптические основы центрального проектирования**

Получение фотографического изображения объектов для последующей фотограмметрической обработки осуществляется специальной камерой, основной частью которой является объектив, представляющий собой систему линз, которые должны строить изображение по законам идеальной оптической системы.

Идеальная оптическая система удовлетворяет следующим условиям:

1. Точке, прямой и плоскости в пространстве предметов соответствует точка, прямая и плоскость в пространстве изображений.
2. Соответствие между точками, плоскостями и прямыми происходит по законам оптического сопряжения.

Уклонение от идеального оптического изображения называют аберрациями. Для реальных оптических систем аберрации стремятся свести к минимуму, так как объектив в значительной степени предопределяет измерительные и дешифровочные качества аэроснимка и, следовательно, качество и методику последующей фотограмметрической обработки аэроснимков.

## Основные точки и плоскости оптической системы

Рассмотрим основные точки и плоскости сложного объектива, условно показанного на рис. 1 двумя дугами, обозначающими его наружные поверхности.

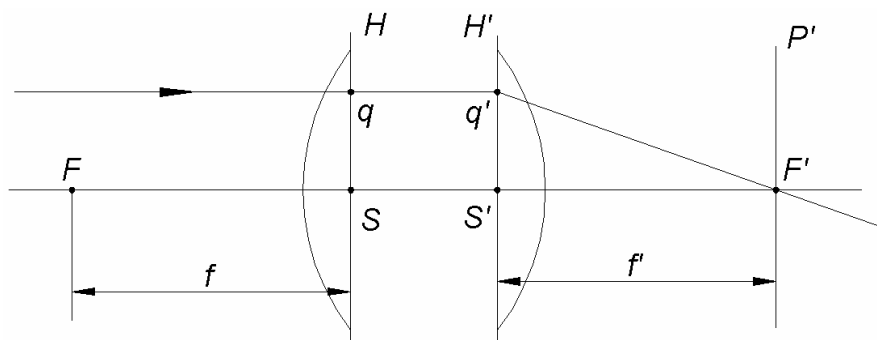


Рис. 1

Прямая, соединяющая центры сферических плоскостей, называется оптической осью.

Лучи, идущие от предмета параллельно оптической оси, по выходе из системы пересекают оптическую ось в точке главного заднего фокуса  $F'$ . Задняя главная плоскость  $H'$  образуется из точек пересечения исходного и конечного направлений каждого луча, проходящего через задний главный фокус  $F'$ . Бесконечно удаленная плоскость в пространстве предметов, расположенная перпендикулярно оптической оси, изображается в виде задней фокальной плоскости  $P'$ . Кратчайшее расстояние от задней главной плоскости  $H'$  до задней фокальной плоскости  $P'$  называется задним фокусным расстоянием  $f'$ . Аналогично можно определить передний главный фокус  $F$ , главную плоскость  $H$  и фокусное расстояние  $f$ .

Пересечения главных плоскостей  $H$  и  $H'$  с оптической осью определяют положение главных точек оптической системы  $S$  и  $S'$ . Точки  $q$  и  $q'$  являются сопряженными точками на главных плоскостях, которые равно отстоят от оптической оси и лежат в одной с ней плоскости.

## Построение изображения идеальной оптической системой

Так как преломление лучей, проходящих через объектив, происходит на главных плоскостях, то будем изображать объектив только двумя главными плоскостями.

Для построения изображения отрезка  $l$  (рис. 2) из точки  $B$  проведем два луча: первый параллельно оптической оси, а другой – через передний главный фокус  $F$ .

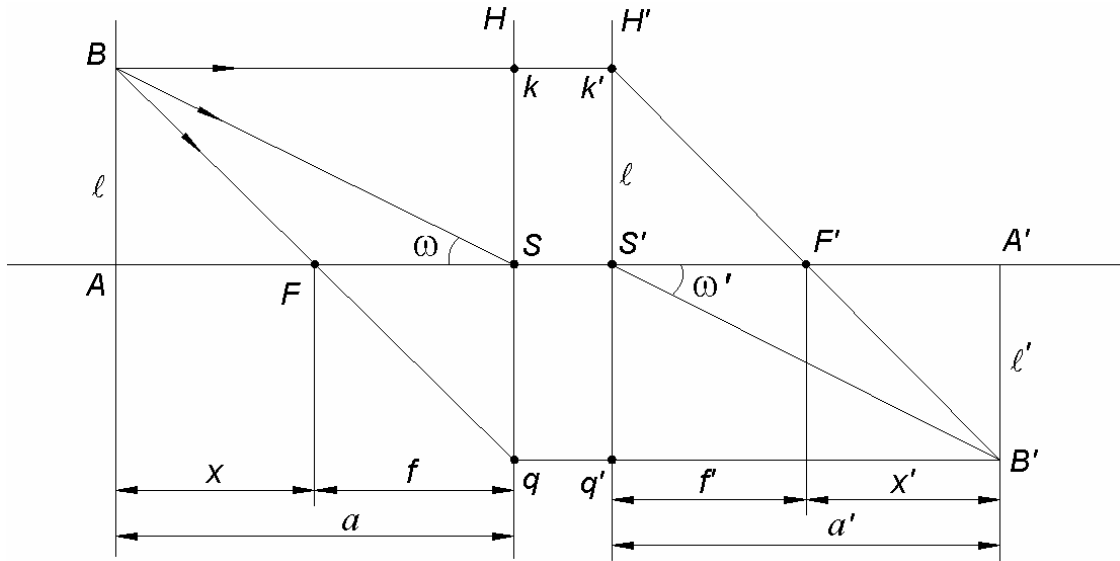


Рис. 2

Первый луч, идущий параллельно оптической оси, преломится на задней главной плоскости  $H'$  и пройдет через задний главный фокус  $F'$ . Второй луч пройдет через передний главный фокус  $F$ , преломится на передней главной плоскости  $H$  и далее пойдет параллельно оптической оси. На пересечении этих лучей образуется изображение искомой точки, т.е. точка  $B'$ . Восстановим из точки  $B'$  перпендикуляр к оптической оси и получим точку  $A'$ .

Из подобия треугольников  $\Delta A'B'F' \sim \Delta k'S'F'$  и  $\Delta ABF \sim \Delta FSq$  можно записать соотношения

$$\frac{\ell'}{\ell} = \frac{x'}{f'}; \quad \frac{\ell'}{\ell} = \frac{f}{x} \quad \text{или} \quad \frac{\ell'}{\ell} = \frac{f}{x} = \frac{x'}{f'} = \beta, \quad (1)$$

где  $\beta$  называют поперечным увеличением.

Из уравнения (1) запишем

$$ff' = xx'. \quad (2)$$

Формулу (2) называют первым оптическим условием или формулой Ньютона.

Выражение (2) можно преобразовать, если представить  $x = a - f$ ;  $x' = a' - f'$  (см. рис. 2)

$$\begin{aligned} (a - f)(a' - f') &= ff', \\ aa' - a'f - af' + ff' &= ff', \\ a'f + af' &= aa'. \end{aligned} \quad (3)$$

Поделим обе части выражения (3) на величину  $aa'$ :

$$\frac{f}{a} + \frac{f'}{a'} = 1. \quad (4)$$



Формула (4) также выражает первое оптическое условие. В аэрофотосъемке и фотограмметрии применяют симметричные объективы, у которых  $f' = f$ , тогда выражение (4) примет вид

$$\frac{f}{a} + \frac{f}{a'} = 1.$$

Поделив обе части полученного равенства на  $f$ , будем иметь

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}. \quad (5)$$

Формула (5) – это первое оптическое условие для симметричных объективов в однородной сфере.

Соединим точку  $B$  с точкой  $S$ , а точку  $B'$  с точкой  $S'$ . Из полученных прямоугольных треугольников  $\Delta ABC$  и  $\Delta A'B'S'$  запишем

$$\operatorname{tg}\omega' = \frac{\ell'}{x' + f'}; \quad \operatorname{tg}\omega = \frac{\ell}{x + f}.$$

Найдем отношение

$$\frac{\operatorname{tg}\omega'}{\operatorname{tg}\omega} = \frac{\ell'(x + f)}{\ell(x' + f')} = \beta \frac{(x + f)}{(x' + f')}. \quad (6)$$

Из отношения (I)

$$x' = f'\beta; \quad x = \frac{f}{\beta}. \quad (7)$$

Подставим выражения (7) в отношение (6):

$$\frac{\operatorname{tg}\omega'}{\operatorname{tg}\omega} = \beta \frac{\left(\frac{f}{\beta} + f\right)}{(f'\beta + f)} = \frac{f(1 + \beta)}{f'(1 + \beta)} = \frac{f}{f'}.$$

Для идеальной оптической системы

$$\frac{\operatorname{tg}\omega'}{\operatorname{tg}\omega} = \frac{f}{f'} = \operatorname{const}. \quad (8)$$

Отношение (8) является условием ортоскопии, т.е. подобия. Для симметричных объективов и в однородной среде условие ортоскопии имеет вид

$$\frac{\operatorname{tg}\omega'}{\operatorname{tg}\omega} = 1. \quad (9)$$

Даже лучшие, так называемые ортоскопические, объективы не дают строго подобного (ортоскопического) изображения. Нарушение подобия у симметричных объективов объясняется неравенством углов  $\omega$  и  $\omega'$  при передней  $S$  и задней  $S'$  узловых точках объектива. Нарушение ортоскопии называется дисторсией. Следовательно, дисторсия возникает при несоблюдении равенства (9).

Наличие дисторсии вызывает на аэроснимке искривление прямых линий, принимающих выпуклый или вогнутый по отношению к центру аэроснимка вид в зависимости от того, отрицательна или положительна дисторсия. Изображение квадратной сетки (рис. 3, *а*), расположенной в плоскости, перпендикулярной к оптической оси, при наличии положительной дисторсии имеет вид, показанный на рис. 3, *б*, а при наличии отрицательной дисторсии – на рис. 3, *в*.

Дисторсию подразделяют на радиальную и тангенциальную. Радиальная дисторсия возникает из-за недостаточно совершенного расчета объектива, тангенциальная – из-за погрешностей изготовления и сборки объектива.

Величины дисторсии для различных зон аэроснимка находят при калибровке, в ходе которой определяют также элементы внутреннего ориентирования. Полученные величины записывают в паспорт аэрофотоаппарата (АФА).

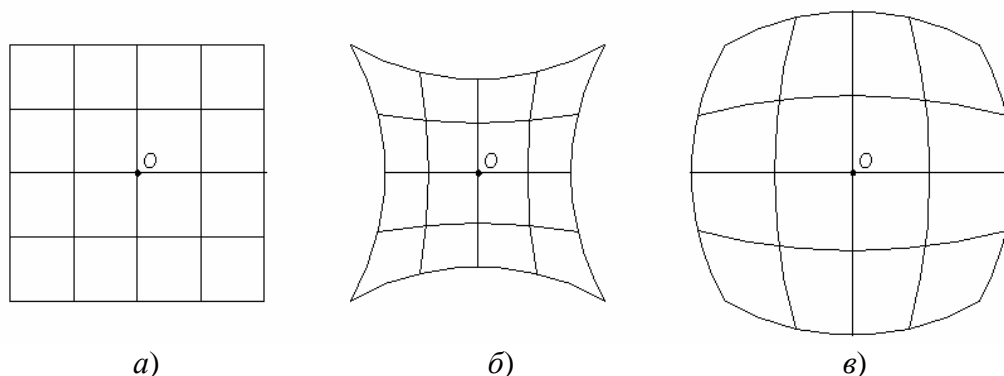


Рис. 3

Чем меньше ошибки дисторсии, тем меньше и ошибки фотограмметрических построений. В настоящее время применяются высококачественные объективы с весьма малой дисторсией, позволяющей при геометрическом анализе принять изображение за центральную проекцию.

### Построение изображения наклонной плоскости

Имеем плоскость  $P$ , расположенную под углом  $u$  к оптической оси. Необходимо построить ее изображение при помощи объектива, представленного двумя главными плоскостями  $H$  и  $H'$  (рис. 4).

Для построения воспользуемся вспомогательной точкой  $B$ , полученной в результате пересечения плоскостью  $P$  оптической оси. Изображение точки  $B$  (т.е. точка  $B'$ ) должно отстоять от заднего главного фокуса  $F'$  на величину  $x'$ , которую можно рассчитать исходя из выполнения первого оптического условия. На основании формулы (2) будем иметь

$$x' = \frac{f \cdot f'}{x}.$$

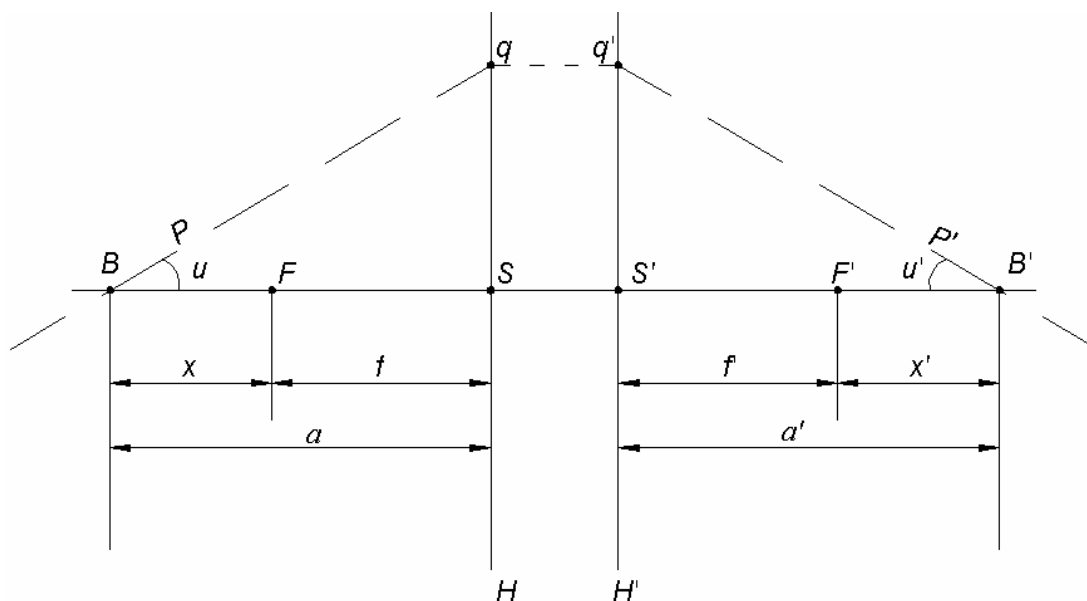


Рис. 4

Продолжим плоскость  $P$  до пересечения с передней главной плоскостью  $H$ , которое будет в точке  $q$ . Точка, сопряженная  $q$ , будет  $q'$ . Учитывая положение идеальной оптической системы, а именно: плоскости в пространстве предметов должна соответствовать плоскость в пространстве изображений, плоскость в пространстве изображений  $P'$  пройдет через точки  $B'$  и  $q'$ .

Если плоскость  $P$  наклонена к оптической оси на угол  $u$ , то плоскость  $P'$  будет наклонена к оптической оси на угол  $u'$ .

Из прямоугольных треугольников  $\Delta BSq$  и  $\Delta B'S'q'$  запишем

$$\operatorname{tgu}' = \frac{q'S'}{x' + f'}; \quad \operatorname{tgu} = \frac{qS}{x + f}; \quad q'S' = qS.$$

Найдем отношение

$$\frac{\operatorname{tgu}'}{\operatorname{tgu}} = \frac{x + f}{x' + f'} = \frac{a}{a'}, \quad (10)$$

которое является вторым оптическим условием или условием Шеймпфлюга.

При построении изображения объекта переднюю  $S$  и заднюю  $S'$  узловые точки объектива можно считать совпадающими, так как расстояние между главными плоскостями не влияет на направление лучей в пространстве, а следовательно, и на размеры изображения, поэтому в дальнейшем объектив будем изображать одной главной плоскостью.

Если главные плоскости  $H$  и  $H'$  совпадают, условие резкого изображения выполняется тогда, когда предметная плоскость и плоскость изображения пересекаются по прямой, лежащей в главной плоскости системы, а для соответствующих точек на оптической оси выполняется первое оптическое условие.

## Оптическое изображение пространства в фокальной плоскости объектива

Предположим, что плоскость изображения  $P'$  (рис. 5) совпадает с фокальной плоскостью объектива и  $f' = f$ ,

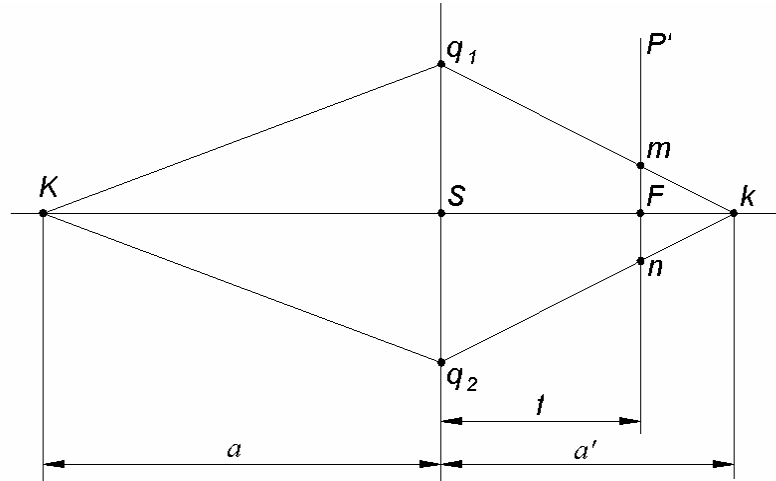


Рис. 5

На рис. 5  $q_1q_2 = d$  – диаметр входного отверстия объектива. Теоретически с точками фокальной плоскости  $P'$  оптически сопряжены бесконечно удаленные точки. Практически же в этой плоскости будем иметь резкое изображение точек пространства, расположенных на конечном расстоянии от объектива. Определим минимальное отстояние точек от объектива  $a$  при условии, что их изображение на плоскости  $P'$  имеет кружки нерезкости, не превышающие заранее заданной величины. В оптике это расстояние  $a$  называется началом бесконечности.

Воспользуемся двумя лучами, идущими к краям входного отверстия объектива. Точка  $K$  местности резко изобразится в точке  $k$ , и для этих точек будет выполняться первое оптическое условие

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}.$$

В фокальной плоскости  $P'$  вместо точки будем иметь кружок нерезкости диаметром  $\tau = mn$  (рис. 5). Найдем из выражения (5) величину  $a$

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a'}, \text{ откуда } a = \frac{a'f}{a' - f}. \quad (11)$$

Из подобия треугольников  $\Delta kmn \sim \Delta kq_1q_2$  имеем

$$\frac{a'}{a' - f} = \frac{d}{\tau}. \quad (12)$$

Подставим выражение (12) в формулу (11):

$$a = \frac{d}{\tau} f . \quad (13)$$

По формуле (13) определяют минимальное расстояние точек, изобразившихся резко в фокальной плоскости объектива.

Применительно к аэрофотосъемке величина  $a$  определяет минимальную высоту фотографирования  $H_{\min}$ , при которой изображение местности в фокальной плоскости объектива будет практически резкое.

Предположим  $f = 200$  мм,  $d = 33$  мм,  $\tau = 0,02$  мм. Подставляя эти величины в формулу (13), найдем  $H_{\min} = 330$  м.

В действительности высоты фотографирования при аэрофотосъемке с топографическими целями бывают значительно больше величины, определяющей начало бесконечности. Поэтому фотографирование местности всегда производится при постоянной фокусировке объектива на бесконечность.

### Принципиальная схема аэрофотоаппарата

Современные аэрофотоаппараты (АФА), используемые для картографирования территорий, представляют собой сложные и высокоточные оптико-механические и электрические устройства. Мы с вами рассмотрим только схему АФА, показанную на рис. 6.

Основной частью аэрофотоаппарата является аэрокамера 1, которая состоит из корпуса 2 и конуса 3. Корпус и конус предназначены для крепления объектива 4 и предохранения фотопленки от световых лучей, не прошедших через объектив. Они фиксируют положение объектива относительно фокальной плоскости, где находится прикладная рамка 5 с четырьмя координатными метками, экспонируемыми на аэроснимок. Корпус и конус изготавливают из материала с низким коэффициентом температурного расширения, благодаря чему объектив, прикладная рамка и координатные метки не изменяют взаимного положения при изменениях температуры.

Как правило, между линзами объектива 4 размещен узел затвора, состоящий из затвора и диафрагмы. Затвор регулирует промежуток времени, в течение которого свет проходит через объектив, т.е. выдержку. Диафрагма ограничивает диаметр светового пучка, проходящего через объектив к фотопленке. Наибольшее распространение в современных АФА получили центральные затворы, которые обеспечивают малые экс-

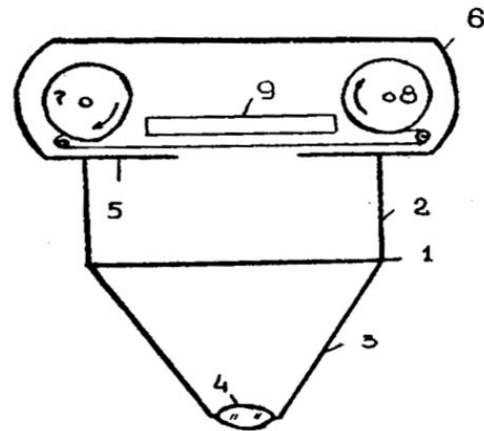


Рис. 6

позиции ( $1/25 \div 1/2000$  сек), что очень важно, так как от скорости работы затвора зависит величина сдвига изображения из-за поступательного движения аэрофотоаппарата и его вибрации. Перед объективом обычно размещают светофильтр, понижающий влияние атмосферной дымки на качество изображения и выравнивающий светораспределение в фокальной плоскости.

Другой важнейшей частью аэрофотоаппарата служит кассета 6. Современные АФА работают на пленочном светочувствительном материале, поэтому кассета содержит в себе механизм для перемотки аэропленки по мере ее экспонирования со сматывающей катушки 7 на наматывающую 8, а также механизм для приведения пленки в фокальную плоскость и выравнивания ее перед экспонированием прижимной выравнивающей плитой 9. Выравнивание пленки в современных АФА производится преимущественно пневматическим методом, где чаще всего используется вакуум, или механическим способом путем прижима фотопленки к стеклу. Источником вакуума являются самолетные трубки Пито или Вентури.

В аэрофотоаппаратах имеются устройства для регистрации дополнительной информации. В отечественных АФА на фотопленку впечатываются показания часов, линий Романовского и изображение уровня. Другой основной частью аэрофотоаппарата является аэрофотоустановка, которая при помощи амортизаторов соединяет аэрокамеру с самолетом. Кроме того, аэрофотоустановка придает необходимое положение оптической оси аэрокамеры, ориентирует аэрокамеру относительно направления полета и уменьшает влияние вибрации самолета.

Дистанционное управление работой аэрофотоаппарата осуществляется командным прибором, на котором устанавливается расчетная величина интервала фотографирования.

Цикл работы АФА происходит следующим образом. При включении аэрофотоаппарата пленка перематывается с катушки 7 на катушку 8 на один кадр. Затем она слегка натягивается. В это время путем нагнетания или откачки воздуха пленка прижимается к выравнивающей плите 9, которая опускается и прижимает пленку к плоскости прикладной рамки 5. Затвор открывается, происходит экспонирование пленки. Затем пленка освобождается, и цикл повторяется снова. Минимальная продолжительность цикла составляет 2 сек. Топографические аэрофотоаппараты классифицируют по следующим главным признакам: по формату аэроснимка, по углу поля зрения или по величине фокусного расстояния.

По первому признаку АФА можно подразделить на малоформатные (размер аэроснимка меньше  $18 \times 18$  см), нормального формата ( $18 \times 18$  см) и крупноформатные (размер аэроснимка больше  $18 \times 18$  см). Формат аэроснимка определяет возможность использования тех или иных фотолабораторных и фотограмметрических приборов.

Площадь аэроснимка, в пределах которой получается изображение высокого качества, называется полем изображения, а соответствующий этому полю угол с вершиной в центре проекции  $S$  называется углом поля зрения  $2\beta$  (рис. 7).

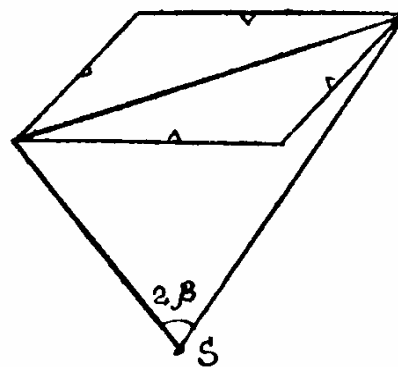


Рис. 7

Вся площадь аэроснимка является полем изображения, т.е. имеет высокое качество. По углу поля зрения объективы делят на узкоугольные ( $2\beta < 50^\circ$ ); нормальные ( $50^\circ < 2\beta < 80^\circ$ ); широкоугольные ( $80^\circ < 2\beta < 110^\circ$ ) и сверхширокоугольные ( $2\beta > 110^\circ$ ).

По величине фокусного расстояния  $f$  АФА бывают: короткофокусные ( $f < 70$  мм), нормальные ( $70$  мм  $< f < 110$  мм), длиннофокусные ( $f > 110$  мм).

### Система координат аэроснимка

Для определения по снимкам координат точек местности необходимо знать положение изображений этих точек и элементы ориентирования.

Положение точек на аэроснимке определяют в плоской прямоугольной системе координат (рис. 8). За ось  $x$  принимают линию, соединяющую горизонтальные координатные метки, за ось  $y$  – верхнюю и нижнюю координатные метки. Начало координат находится в точке  $O'$ , которая получается как пересечение прямых, соединяющих противоположные координатные метки.

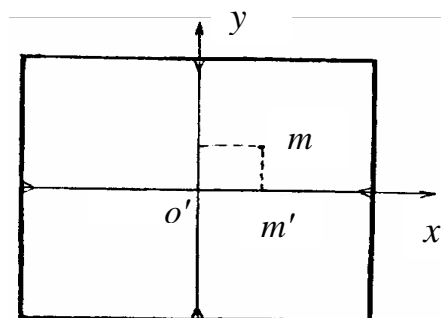


Рис. 8

### Элементы внутреннего ориентирования

Элементами ориентирования аэроснимка называют величины, определяющие положение его в момент фотографирования. Их разделяют на две группы: элементы внутреннего ориентирования и элементы внешнего ориентирования.

Положение центра проектирования относительно плоскости прикладной рамки определяется элементами внутреннего ориентирования. К ним относятся фокусное расстояние  $f$  и координаты главной точки  $x_0, y_0$  (рис. 9).

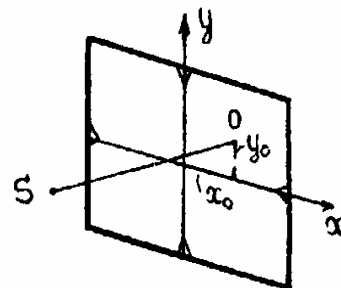


Рис. 9

Если из центра проектирования  $S$  опустить перпендикуляр на плоскость прикладной рамки или негатива, то основание  $O$  этого перпендикуляра будет называться главной точкой, а длина его – фокусным расстоянием аэрокамеры  $f$ . В тщательно отъюстированной камере  $x_0 = y_0 = 0$ , т.е. главная точка совпадает с началом координат.

Зная элементы внутреннего ориентирования, можно найти центр проекции  $S$  и восстановить по снимку связку проектирующих лучей, существовавшую в момент фотографирования. Связкой проектирующих лучей называют совокупность проектирующих лучей, идущих от центра проекции  $S$  к точкам аэроснимка.

### Элементы внешнего ориентирования

Величины, определяющие положение аэроснимка относительно геодезической системы координат, носят название элементов внешнего ориентирования. Существует две системы элементов внешнего ориентирования аэроснимка.

#### *Первая система элементов внешнего ориентирования*

Элементами внешнего ориентирования являются три пространственные координаты  $X_s, Y_s, Z_s$  центра фотографирования  $S$  и три угловых поворота вокруг пространственных осей координат (рис. 10). Два угловых поворота определяют направление в пространстве главного луча, а третий характеризует угол поворота аэроснимка в своей плоскости.

$\alpha_0$  – угол наклона аэроснимка – это угол между отвесной линией и главным лучом;  $A$  – дирекционный угол главного луча, т.е. угол между линией направления съемки и линией, параллельной оси  $O'X$ ;

$\chi$  – угол поворота аэроснимка в своей плоскости вокруг главного луча, т.е. угол на снимке между главной вертикалью и осью у снимка.

#### *Вторая система элементов внешнего ориентирования*

В этом случае несколько иначе определяется только положение главного луча в пространстве (рис. 11).

$\alpha$  – продольный угол наклона аэроснимка – это угол между отвесной линией  $SN$  и проекцией главного луча на плоскость, параллельную плоскости  $XZ$ ;

$\omega$  – поперечный угол наклона аэроснимка, т.е. угол между главным лучом  $SO$  и его проекцией  $SD$ .

Остальные элементы те же, что и в первом случае.

Таким образом, аэроснимок имеет девять элементов ориентирования, которые полностью определяют положение его в пространстве в момент фотографирования; из них три элемента внутреннего ориентирования и шесть – внешнего.



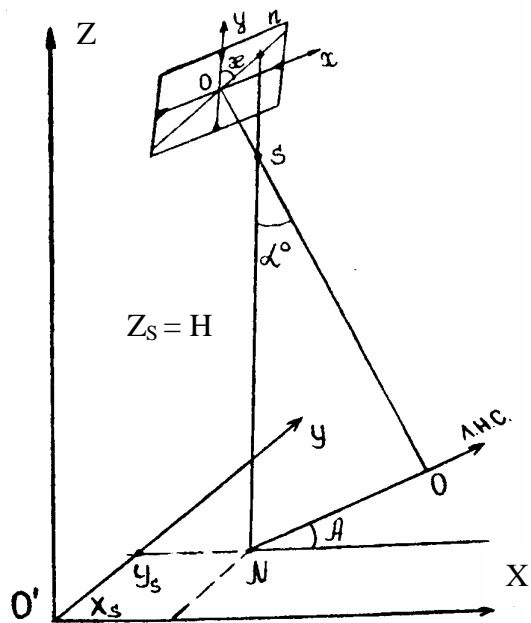


Рис. 10

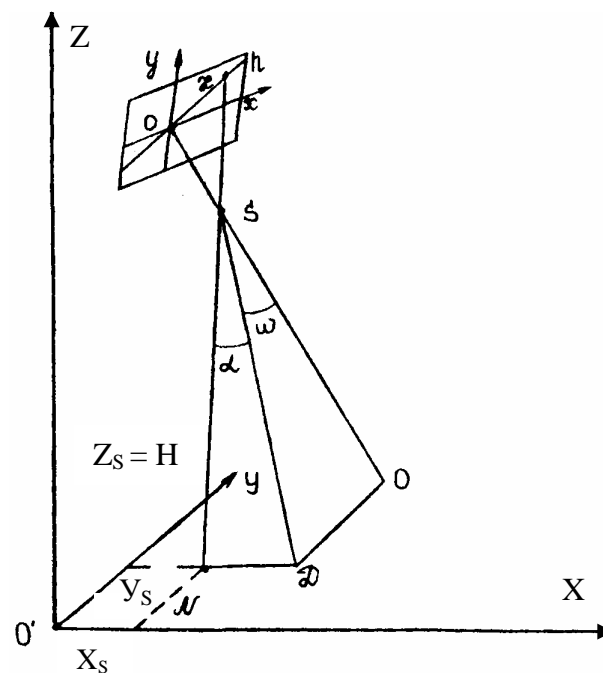


Рис. 11

## 2. АЭРОФОТОСЪЕМКА

Аэрофотосъемкой называется процесс фотографирования земной поверхности с летательных аппаратов.

По направлению оптической оси АФА (главного луча) аэрофотосъемку подразделяют на плановую и перспективную.

Плановой называется аэрофотосъемка, при которой главная оптическая ось аэрофотоаппарата совпадает с вертикалью или отклоняется от нее на незначительный угол (допустимый угол отклонения  $3^\circ$ ).

Современное состояние техники пока не дает возможности строго выдерживать в полете заданное пространственное положение аэрофотоаппарата и, в частности, отвесность положения оптической оси. Отклонение оптической оси можно уменьшить до  $15 \div 30'$  путем применения гиросtabilизирующей установки.

Перспективной называется аэрофотосъемка, при которой главная оптическая ось АФА составляет с вертикалью угол, превышающий заданный для плановой аэрофотосъемки. Для картографирования территории в настоящее время применяется только плановая аэрофотосъемка.

По характеру светочувствительных материалов аэрофотосъемку делят на черно-белую, цветную, спектрзональную, в отдельных зонах спектра, например, инфракрасную. Чаще всего применяют черно-белый светочувствительный материал, который обладает большей информативной емкостью и значительно дешевле. Однако для целей геологии, в лесном деле, сельском хозяйстве и других целесообразно применять спектрзональный светочувствительный материал.

По назначению аэросъемку делят на топографическую, разведывательную, для инженерных и геологических изысканий, географических, экологических целей. Топографическую аэросъемку в зависимости от размеров объекта и задания можно разделить на одинарную, маршрутную и многомаршрутную. Одинарной называется аэрофотосъемка, при которой производится один или несколько аэроснимков, не перекрывающихся между собой. Маршрутной называется аэрофотосъемка полосы местности в виде отдельного прямого, криволинейного или ломаного маршрута, последовательные аэроснимки которого взаимно перекрываются (рис. 12).

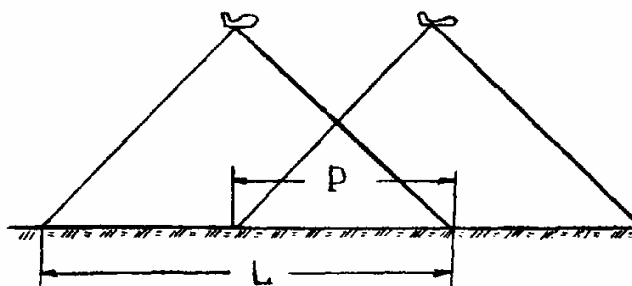


Рис. 12

Перекрытие аэроснимков, принадлежащих одному маршруту, называется продольным ( $P$ ) и выражается в процентах. Если захват местности одним аэроснимком  $L - 100\%$ , то  $P - p\%$ , отсюда

$$p\% = \frac{P}{L} 100.$$

Многомаршрутная аэросъемка (аэросъемка площади) применяется для картографирования крупных площадей земной поверхности путем проложения прямолинейных и параллельных между собой аэросъемочных маршрутов. При этом аэроснимки каждого последующего маршрута перекрываются с аэроснимками предыдущего маршрута. Такое перекрытие называется поперечным ( $Q$ ) и выражается в процентах.

$$q\% = \frac{Q}{L} 100.$$

Таким образом, летно-съёмочный процесс заключается в фотографировании местности при помощи аэрофотоаппарата с заданной высоты полета серией параллельных маршрутов с определенным процентом продольного и поперечного перекрытий.

### Масштаб аэросъемки

Масштабом аэрофотосъемки является отношение отрезка на аэроснимке к соответствующему отрезку на местности.

На рис. 13 показан горизонтальный аэроснимок, на котором сфотографирована плоская местность.

Отрезок  $SO$  – высота фотографирования  $H$ . Масштаб аэроснимка  $1/m$  будет

$$\frac{1}{m} = \frac{ab}{AB}.$$

Из подобия треугольников  $\Delta Sab \sim \Delta SAB$  и  $\Delta Soa \sim \Delta SOA$  напишем отношение

$$\frac{ab}{AB} = \frac{Sa}{SA} = \frac{So}{SO} = \frac{f}{H},$$

следовательно

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}, \quad (14)$$

т.е. масштаб аэросъемки равен отношению фокусного расстояния АФА к высоте фотографирования.

Как видно из выражения (14), чем больше фокусное расстояние, тем крупнее масштаб, а чем больше высота полета, тем мельче масштаб. Кроме того, масштаб горизонтального аэроснимка плоской местности является величиной постоянной, не зависящей от размера, направления и расположения выбранного отрезка. Для получения аэроснимков заданного масштаба экипаж должен выдерживать постоянную высоту полета таким образом, чтобы

$$H = fm. \quad (15)$$

Колебания высоты полета приводят к разномасштабности аэроснимков.

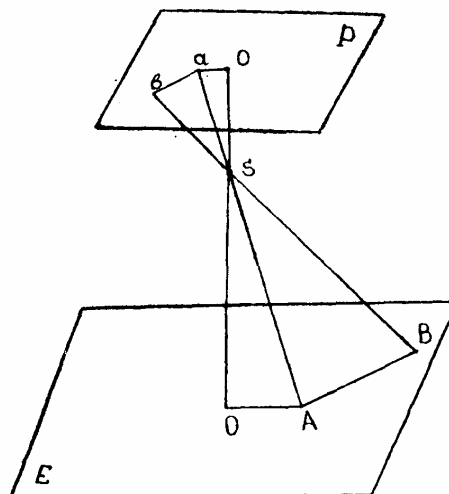


Рис. 13

### Высоты полета

В практике самолетовождения различаются следующие виды высот (рис. 14): абсолютная  $H_a$  (относительно уровня моря), относительная  $H_o$  (относительно аэродрома вылета), истинная  $H_u$  (высота самолета относительно пролетаемой местности), высота фотографирования  $H$  (высота самолета относительно средней горизонтальной плоскости снимаемого участка).

На основании рис. 14 можно записать соотношение между высотами:

$$H_a = H_o + A_a = H + A_{cp}. \quad (16)$$

Во время аэрофотосъемки экипаж самолета выдерживает относительную высоту полета по барометрическому высотомеру с погрешностью  $\pm 10 \div 15$  м на протяжении маршрута и  $\pm 20 \div 25$  м между маршрутами.

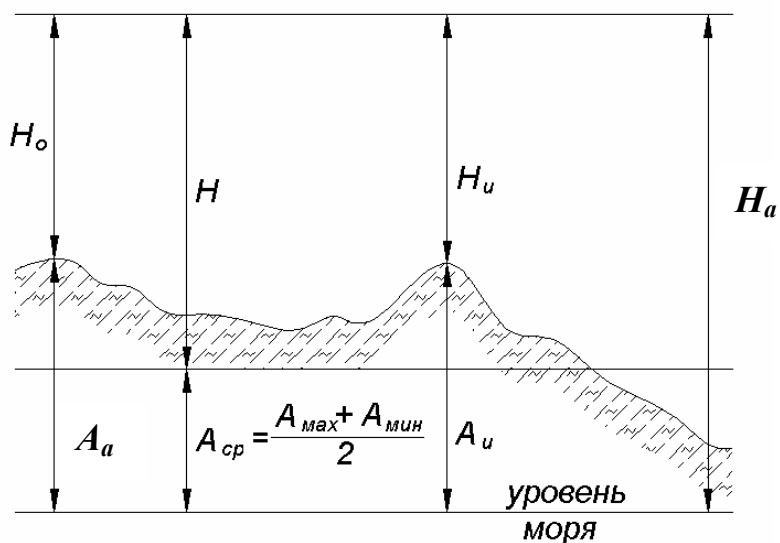


Рис. 14

Относительную высоту рассчитывают в зависимости от необходимой для обеспечения заданного масштаба снимков высоты фотографирования

$$H_o = H + A_{cp} - A_a. \quad (17)$$

### Расчет базиса фотографирования, расстояния между маршрутами и перекрытий между аэроснимками

Для стереофотограмметрической обработки снимков необходимо иметь продольное перекрытие не менее 56 %. В противном случае получаются фотограмметрические разрывы, при которых аэроснимки начинают терять зону тройного продольного перекрытия. Для обеспечения заданного продольного перекрытия необходимо строго выдерживать расстояние между соседними моментами экспозиции АФА  $S_1$  и  $S_2$ , которое называется базисом фотографирования и обозначается  $B_x$  (рис. 15).

Из рис. 15 видно, что фигура  $S_1S_2DC$  представляет собой параллелограмм, в котором противоположные стороны равны

$$CD = S_1S_2 = B_x.$$

Если  $L - 100\%$ , то  $B_x - (100 - P)\%$ . Решив эти пропорции, получим

$$B_x = \frac{L(100 - P)\%}{100\%}, \quad (18)$$

или в масштабе аэроснимка

$$b_x = \frac{\ell(100 - P)\%}{100\%}, \quad (19)$$

где  $\ell$  – формат аэроснимка,  $L$  – захват местности одним аэроснимком.

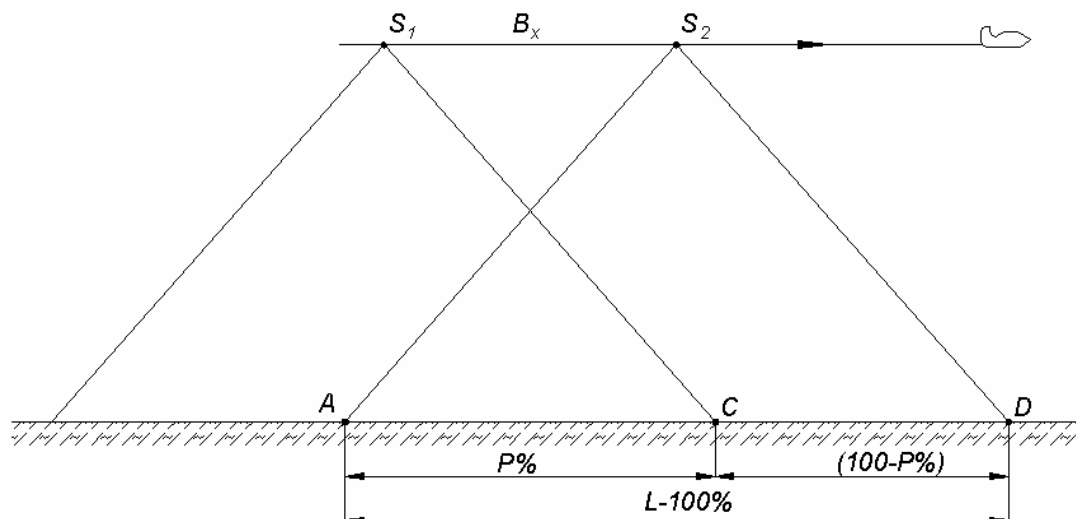


Рис. 15

Для картографирования обычно требуется 30 %-ное поперечное перекрытие аэроснимков. Поперечное перекрытие  $q$  менее 15 % не желательно для фотограмметрической обработки. Аналогично формулам для расчета базиса фотографирования  $B_x$  запишем формулы для расчета расстояния между съемочными маршрутами  $B_y$ :

$$B_y = \frac{L(100 - q)\%}{100\%}, \quad (20)$$

или в масштабе аэроснимка

$$b_y = \frac{\ell(100 - q)\%}{100\%}, \quad (21)$$

Можно решить и обратную задачу, т.е. по значениям базиса фотографирования и расстоянию между маршрутами найти продольное и поперечное перекрытия

Точно выдержать в полете заданные базис фотографирования и расстояние между маршрутами невозможно, следовательно, продольное и поперечное перекрытия не будут равны требуемым, кроме того, эти перекрытия зависят от высоты фотографирования и рельефа местности. Для предупреждения возможных продольных и поперечных фотограмметрических разрывов в нормативные перекрытия вводят поправки

$$P = P_0 + \Delta P_m + \Delta P_\alpha + \Delta P_h, \quad (22)$$

$$q = q_0 + \Delta q_m + \Delta q_\alpha + \Delta q_h, \quad (23)$$

где  $P_0 = 56\%$ ,  $q_0 = 15\%$  – минимальные перекрытия;

$\Delta P_m, \Delta q_m$  – навигационные поправки (за ошибки самолетовождения), зависят от масштаба фотографирования и приведены в табл. 1.

Таблица 1

$1/m$	$\Delta P_m, \%$	$\Delta q_m, \%$
1:4500 и крупнее	6	15
1:5000÷1:9000	5	13
1:10000÷1:24000	4	11
1:25000÷1:34000	3	9
1:35000 и мельче	2	7

$\Delta P_\alpha, \Delta q_\alpha$  – пилотажные поправки (за ошибки пилотирования, зависят от величины фокусного расстояния АФА, приведены в табл. 2).

Таблица 2

$f, \text{мм}$	$\Delta P_\alpha, \%$	$\Delta q_\alpha, \%$
до 200	3	3
350	5	5
500	8	8

$\Delta P_h, \Delta q_h$  – поправки за рельеф, которые можно рассчитать по формулам

$$\Delta P_h = 0,5 \frac{h}{H} (100 - P_0); \quad \Delta q_h = 0,5 \frac{h}{H} (100 - q_0),$$

где  $h$  – разность экстремальных высот точек местности в пределах съемочного участка.

### Путевая скорость самолета

Движение самолета относительно земной поверхности называется путевой скоростью  $W$ . Измерение путевой скорости сводится к определению времени пролета самолетом  $T$  известного расстояния  $S$ .

$$W = \frac{S}{T}. \quad (24)$$

Путевую скорость самолета  $W$  из экономических соображений целесообразно иметь наибольшей, но с увеличением скорости полета увеличивается и отрезок пути, проходимый самолетом в момент экспозиции  $\Delta W$ , и он составит

$$\Delta W = Wt, \quad (25)$$

где  $t$  – время экспозиции.

Изображение на аэроснимке будет смазанным на величину

$$\delta W = \frac{\Delta W}{m} = \frac{Wt}{m}. \quad (26)$$

Здесь  $m$  – знаменатель масштаба аэросъемки.

Решим выражение (26) относительно  $W$ :

$$W = \frac{m\delta W}{t} = \frac{10000 \cdot 0,02}{1/250} = 50 \text{ м/с} = 3 \text{ км/мин} = 180 \text{ км/ч.}$$

На основании полученной формулы рассчитывают максимальную скорость самолета в зависимости от допустимой величины смаза изображения. Необходимо иметь в виду, что при уменьшении времени экспозиции ухудшается качество получаемых негативов. Поэтому при крупномасштабной аэросъемке необходимо применять самолеты, скорость которых не более 150 км/час.

### **Интервал фотографирования**

В полете для обеспечения заданного продольного перекрытия измеряют не базис фотографирования, а время, за которое самолет пролетает расстояние, равное заданному базису фотографирования (время между соседними моментами экспозиции). Это время называют интервалом фотографирования  $\tau$  и определяют по формуле

$$\tau = \frac{B_x}{W}. \quad (27)$$

Полученную величину интервала фотографирования устанавливают на командном приборе АФА, и механизм аппарата автоматически его выдерживает.

Как видно из выражения (27), путевую скорость самолета при прокладке съемочных маршрутов и переходе с одного съемочного маршрута на другой необходимо выдерживать постоянной. Колебания скорости на съемочном маршруте приводят к соответствующим колебаниям базисов фотографирования и, следовательно, к колебаниям в продольном перекрытии аэроснимков этого маршрута. Отклонения путевой скорости при переходе с маршрута на маршрут приведут к соответствующим отклонениям фактического расстояния между съемочными маршрутами и к отклонениям от заданного поперечного перекрытия.

### **Аэрофотосъемочный расчет**

В задании на аэрофотосъемку указывают: площадь объекта, подлежащего фотографированию, аэрофотоаппарат, которым надлежит выполнять съемку, его фокусное расстояние  $f$  и масштаб фотографирования  $1: m$ .

На основании заданных параметров аэрофотосъемки рассчитывают высоту фотографирования  $H$  по формуле (15) и затем по формуле (17) – относительную высоту полета  $H_o$ , которую экипаж самолета должен выдерживать для получения снимков заданного масштаба.

Используя зависимости (22) и (23), вычисляют перекрытия аэроснимков, необходимые для расчета базиса фотографирования и расстояния между маршрутами.

Число аэроснимков в маршруте  $N_{ch}$  и маршрутов  $N_M$  определяется, как правило, по формулам

$$N_{ch} = \frac{D_x}{B_x} + 3; \quad N_M = \frac{D_y}{B_y} + 1, \quad (28)$$

где  $D_x$  и  $D_y$  – соответственно длина и ширина участка аэросъемки; 1, 3 – обеспечение границ снимаемого участка.

Общее число аэроснимков рассчитывают по формуле

$$N = kN_{ch}N_M, \quad (29)$$

где  $k$  – коэффициент увеличения числа снимков за счет погрешностей самолетовождения, управления оборудованием и др.; для равнинной местности  $k = 1,1$ ; для горной  $k = 1,15$ . Необходимая длина фотопленки  $S$  будет

$$S = 0,19N. \quad (30)$$

### Самолетовождение при аэросъемке

Самолетовождение при аэросъемке площади – основной, наиболее сложный этап аэрофотосъемочного полета. Аэрофотосъемка производится в безоблачную погоду или при высокой облачности, в утренние часы при достаточной высоте Солнца над горизонтом. Прокладка маршрутов производится по полетной карте, где заранее намечаются ориентиры.

Существует три способа прокладки маршрутов при аэросъемке площади.

1. Визуальный способ, когда прокладка аэросъемочных маршрутов и заходы на них выполняются главным образом по наземным ориентирам с использованием для этой цели специально подготовленных карт крупного масштаба или фотосхем.

Чисто визуальный способ очень трудоемок и применяется при прокладке коротких маршрутов и крупномасштабной аэрофотосъемке.

2. Полуинструментальный способ, когда прокладка маршрутов и заходы на них осуществляются при помощи приборов по предварительным расчетам отдельных элементов полета, при непрерывном контроле фактической линии пути самолета по наземным ориентирам. Этот способ лучше всего применять при аэрофотосъемке в средних и мелких масштабах.

3. Инструментальный способ, когда прокладка аэрофотосъемочных маршрутов и заходов на них производится при помощи специального оборудования и приборов на основании данных предварительного расчета отдельных элементов полета. Применяется в случае малой контурной нагрузки на местности (тундра, пустыни). В этом случае особенно тщательно должны быть проверены навигационные и пилотажные приборы.



## Требования к результатам аэросъемки

Для составления топографической карты аэроснимки должны отвечать техническим условиям, выдвигаемым последующей фотограмметрической обработкой. Технические условия к результатам лентно-съёмочных работ можно разделить на две основные группы: первая группа относится к качеству заполнения местности материалами аэросъемки; вторая – к качеству изображения аэроснимков.

Для оценки качества полученного материала по первой группе технических требований составляют накидной монтаж. Для этого контактные отпечатки (аэроснимки) накладывают на деревянный щит и прижимают кнопками. Накладывают отпечатки таким образом, чтобы их перекрывающиеся части совпали возможно точнее и видны были номера аэроснимков (рис. 16). Совмещение производится как по продольному, так и поперечному перекрытиям. После монтажа контактных отпечатков производят оценку выполненного залета.

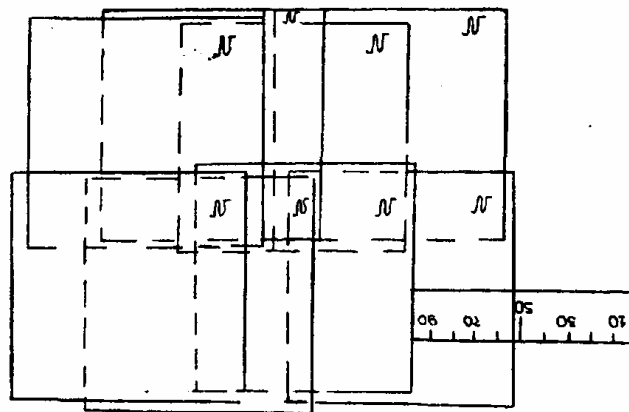


Рис. 16

Материалы аэрофотосъемки считают пригодными для фотограмметрической обработки, если продольное перекрытие  $P$  не менее 56 %, а поперечное  $q$  – не менее 15 %. Для определения процента перекрытий используют специальные палетки, изготовленные из прозрачного пластика, на которых отмечены проценты. Длина палетки должна быть равна размеру аэроснимка. Так как все аэроснимки прижаты кнопками к щиту, то нет возможности увидеть перекрывающиеся части большинства аэроснимков. Для определения процента перекрытия к краю снимка прикладывают палетку таким образом, чтобы с ним совпало сотое деление палетки и напротив края соседнего снимка снимают процент перекрытия этих двух снимков.

Направления аэросъёмочных маршрутов, как правило, должны быть параллельны рамкам снимаемых трапеций за исключением вытянутых городских территорий или горных местностей. Для определения параллельности маршрутов рамкам трапеций последние наносят на накидной монтаж.

Угол непараллельности измеряют транспортиром. Во всех случаях аэросъемки рамки съемочных трапеций должны быть обеспечены аэроснимками.

Маршруты должны быть параллельны между собой (угол непараллельности не должен превышать  $3^\circ$ ) и прямолинейны. Стрелка прогиба аэросъемочного маршрута не должна превышать 3 % длины всего маршрута (рис. 17).

Стороны смонтированных аэроснимков не должны уклоняться от направлений их базисов фотографирования  $b$  более чем на  $5^\circ$  (рис. 18).

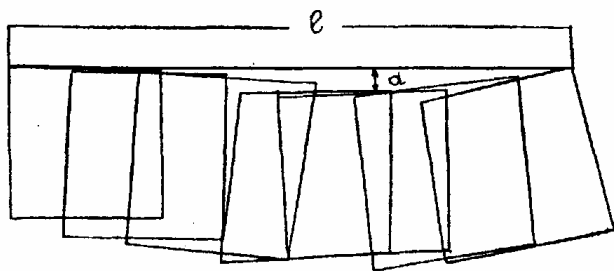


Рис. 17

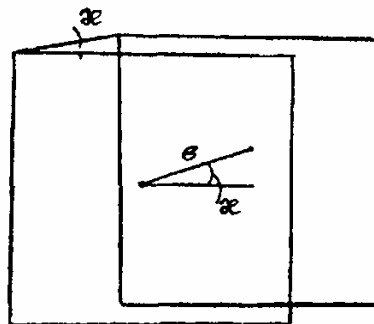


Рис. 18

Для измерения угла непараллельности  $\chi$  используют транспортир, который прикладывают к краю снимка и измеряют угол на край соседнего снимка (рис. 18).

Углы наклонов плановых аэроснимков не должны превышать  $3^\circ$ . Их можно определить по показаниям уровня, впечатанным на аэроснимках.

К аэроснимкам должны быть приложены зафиксированные в полете показания статоскопа и радиовысотомера. По показаниям статоскопа определяют превышения между соседними центрами фотографирования, а по показаниям радиовысотомера – высоту фотографирования.

Уклонения от заданной высоты воздушного фотографирования не должны превышать 5 % от высоты фотографирования.

$$\frac{\Delta H}{H} 100 \leq 5\% .$$

После определения перечисленных параметров накидной монтаж фотографируют и получают так называемую репродукцию накидного монтажа. Репродукции накидного монтажа рассылают во все подразделения, которые будут обрабатывать полученные снимки, и они служат для связи между подразделениями. Кроме того, на репродукции накидного монтажа намечают зоны расположения опознаков.

Требования второй группы: аэронегативы должны иметь среднюю плотность и средний контраст, малую вуаль и четкую проработку всех деталей в светлых и темных местах фотоизображения. Фотографическое качество аэронегативов проверяется сенситометрически.

### 3. ОСНОВЫ ПРОЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ

#### Центральная проекция аэроснимка

Топографическая карта представляет собой ортогональную проекцию местности на горизонтальную плоскость. Аэроснимок – это центральная проекция местности на плоскость аэронегатива. Поэтому для создания топографических карт и планов по аэроснимкам необходимо знать и использовать основные законы центрального проектирования, чтобы перейти от положения точек в центральной проекции к их положению в ортогональной.

Изображение местности на аэроснимке (рис. 19) строится прямолинейными проектирующими лучами, направленными от точек местности  $A, B, O, C, D$  к центру проектирования  $S$ , в пересечении этих проектирующих лучей со снимком получим центральные проекции соответствующих точек местности. Т.е. точки  $a, b, o, c, d$  плоскости негатива  $P$  с проектирующими лучами  $AS, BS, OS, CS, DS$  являются центральными проекциями точек местности  $A, B, O, C, D$ .

Центральную проекцию можно построить и для изображения  $P'$  (рис. 19), расположенного на расстоянии  $So' = So$ . В этом случае  $Sa' = Sa, Sb' = Sb, Sc' = Sc, Sd' = Sd$  и, следовательно,  $a'b' = ab, b'o' = bo, o'c' = oc, c'd' = cd$ .

Изображение  $P$  называют негативным, а  $P'$  – позитивным, и так как расстояния между одноименными точками этих изображений равны между собой, то при фотограмметрической обработке используют и негативные, и позитивные изображения.

Отличие между центральной и ортогональной проекциями состоит в том, что при перемещении плоскости  $P$  расстояния между изображениями точек в ортогональной проекции сохраняются прежними, т.е.  $a_0b_0 = a'_0b'_0$ , а в центральной проекции равенство не сохраняется, т.е.  $a_0b_0 \neq a'_0b'_0$  (рис. 20).

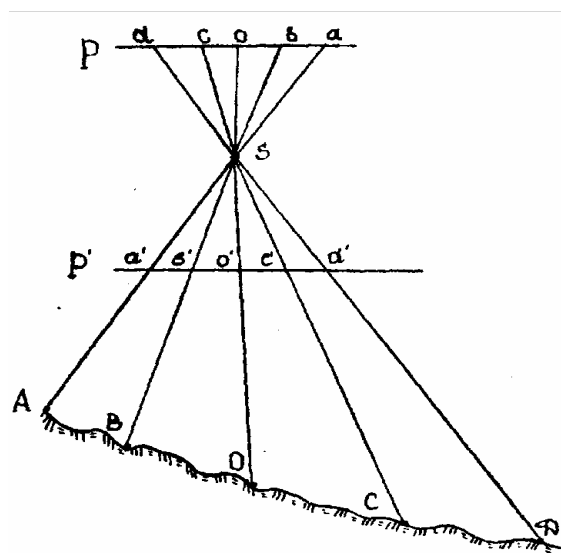


Рис. 19

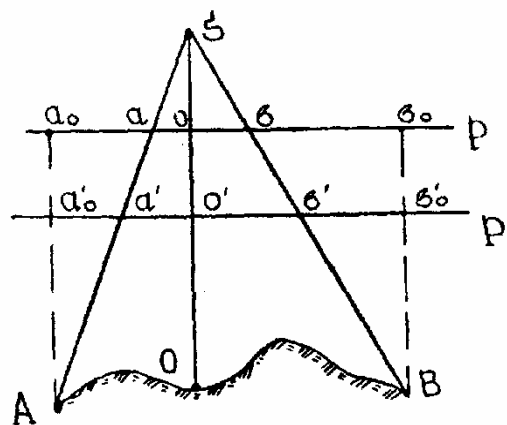


Рис. 20

Ортогональная проекция есть частный случай центральной проекции, когда центр проекции  $S$  находится в бесконечности. Изображение объекта, полученное на плоскости аэроснимка в результате центрального проектирования, называется перспективным изображением.

Свойства центральной проекции: каждой точке местности соответствует только одна точка на перспективном изображении, а каждой прямой на местности соответствует только одна прямая на перспективном изображении.

### Основные элементы перспективы

Основные элементы перспективы показаны на рис. 21.

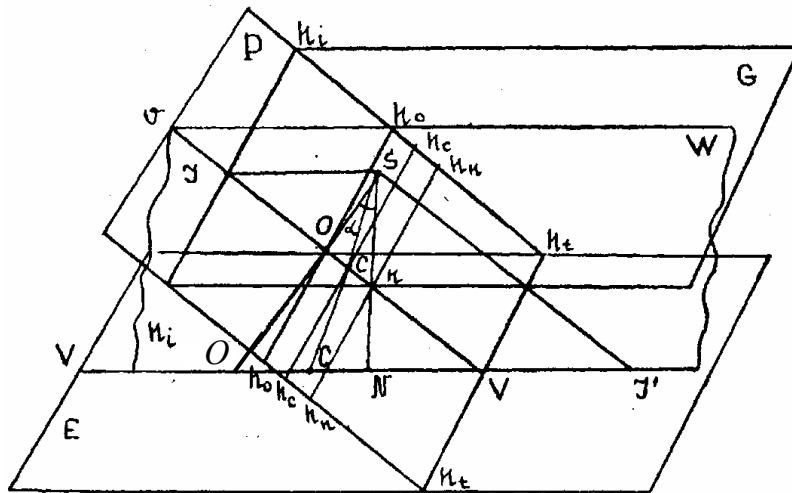


Рис. 21

$E$  – предметная плоскость или плоскость основания – это горизонтальная плоскость, проходящая через какую-либо точку местности;

$P$  – картинная плоскость или плоскость снимка, которая в общем случае занимает наклонное положение к плоскости основания;

$S$  – центр проекции или центр перспективы;

$So$  – главный луч или оптическая ось объектива – это прямая, проходящая через центр проекции  $S$  перпендикулярно к плоскости снимка. Отрезок  $So$  равен фокусному расстоянию  $f$ ;

$o$  – главная точка, получена в результате пересечения главного луча со снимком;  $n$  – точка надира – пересечение отвесной линии, проходящей через центр проекции  $S$  со снимком;

$\alpha$  – угол наклона картинной плоскости – угол между оптической осью и отвесной линией;

$c$  – точка нулевых искажений – пересечение биссектрисы угла  $\alpha$  со снимком;

$O, C, N$  – проекции точек  $o, c, n$  снимка на местность;

$SN = H$  – высота съёмки, т.е. высота центра проекции  $S$  относительно плоскости основания  $E$ ;

$W$  – плоскость главного вертикала – вертикальная плоскость, проходящая через центр проекции  $S$ , точку надира  $n$  и главную точку  $o$ ;

$vV$  – главный вертикаль – пересечение плоскости главного вертикала со снимком;

$VV$  – линия направления съёмки, получена в результате пересечения плоскости главного вертикала  $W$  с плоскостью основания  $E$ ;

$I$  – главная точка схода картинной плоскости – пересечение луча  $SI$ , параллельного направлению съёмки, с картинной плоскостью;

$I'$  – главная точка схода предметной плоскости – пересечение луча  $SI'$ , параллельного главной вертикали  $vV$ , с плоскостью основания;

$G$  – плоскость действительного горизонта – горизонтальная плоскость, проходящая через центр проекции  $S$ .

Линии на аэроснимке, перпендикулярные к главной вертикали, носят название горизонталей.

$h_i h_i$  – линия действительного горизонта – пересечение плоскости действительного горизонта  $G$  – со снимком  $P$ , на ней изображаются точки местности, бесконечно удаленные от снимка;

$h_o h_o$  – линия основания картины – пересечение плоскости основания  $E$  с плоскостью снимка  $P$ ;

$h_o h_o$  – главная горизонталь – это прямая на снимке, проходящая через главную точку  $o$  перпендикулярно к главной вертикали  $vV$ ;

$h_c h_c$  – линия неискаженных масштабов – прямая, проходящая через точку нулевых искажений перпендикулярно к главной вертикали;

$h_n h_n$  – надирная горизонталь, которая проходит через точку надира перпендикулярно к главной вертикали.

Решая прямоугольные треугольники, получим зависимости, определяющие расстояния между важнейшими точками центральной проекции (рис. 22).

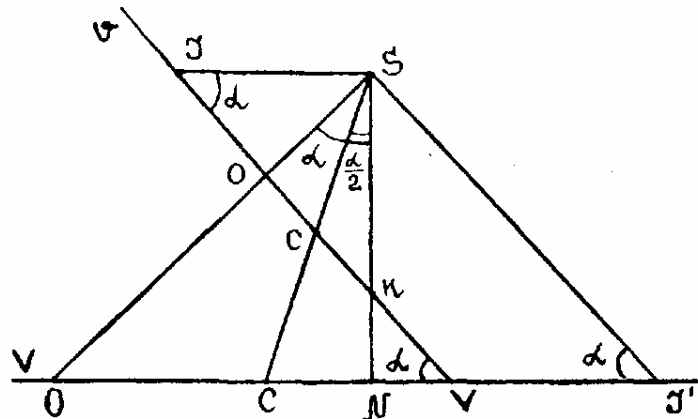


Рис. 22

$$on = f \cdot \operatorname{tg}\alpha; \quad (31)$$

$$Sn = \frac{f}{\cos\alpha}; \quad (32)$$

$$oc = f \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}; \quad (33)$$

$$oI = f \cdot \operatorname{ctg}\alpha; \quad (34)$$

$$IS = \frac{f}{\sin\alpha}; \quad (35)$$

$$NC = H \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}; \quad (36)$$

$$NO = H \cdot \operatorname{tg}\alpha; \quad (37)$$

$$NI' = H \cdot \operatorname{ctg}\alpha; \quad (38)$$

$$IV = SI' = \frac{H}{\sin\alpha}. \quad (39)$$

### Построение перспектив отрезков прямых, параллельных линии направления съемки в картинной плоскости

Построим изображения прямых  $AA'$  и  $BB'$ , расположенных в плоскости основания  $E$  параллельно направлению съемки  $VV$  (рис. 23).

Продолжим линии  $AA'$  и  $BB'$  до пересечения с плоскостью снимка  $P$ . Получим точки  $A_0$  и  $B_0$ , которые будут принадлежать как местности, так и снимку. Если продолжить линии  $AA'$  и  $BB'$  в обратную сторону до бесконечности, то проектирующие лучи, идущие от бесконечно удаленных точек линий  $AA'$  и  $BB'$ , будут параллельны этим прямым и пересекут плоскость снимка в главной точке схода  $I$ . Таким образом, в главной точке схода  $I$  изображаются бесконечно удаленные точки прямых, параллельных линии направления съемки  $VV$ .

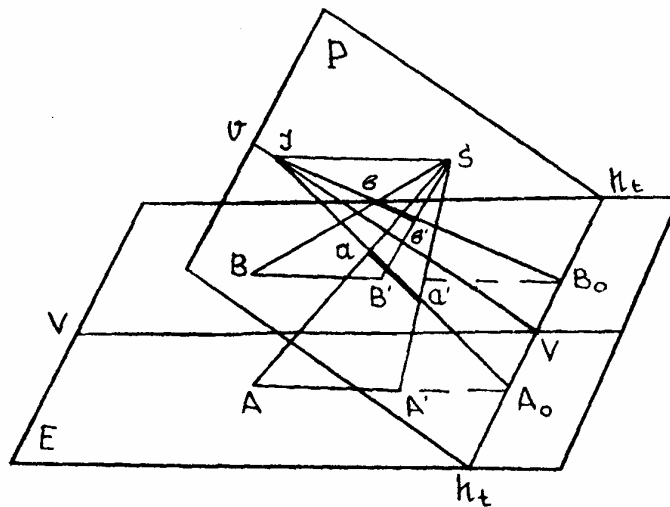


Рис. 23

Соединим главную точку схода  $I$  с точками  $A_0$  и  $B_0$ , получим отрезки  $IA_0$  и  $IB_0$ , которые являются изображениями прямых, начала которых находятся на линии основания картинной плоскости  $h_i h_r$ , а концы в бесконечности.

Если из точек  $A, A', B, B'$  провести проектирующие лучи в центр проекции  $S$ , то в пересечении со снимком  $P$  получим изображения  $aa'$  и  $bb'$  прямых  $AA'$  и  $BB'$ . Параллельные прямые изображаются на наклонном снимке сходящимися прямыми.

Из изложенного вытекают следующие правила построения прямых, параллельных линии направления съемки:

1. Продолжить прямые до пересечения с плоскостью снимка.
2. Провести из центра проекции  $S$  луч, параллельный данным прямым. Пересечение этого луча с плоскостью снимка определит точку схода изображений данных прямых.
3. Точку схода соединить с точками встречи определяемых прямых с плоскостью снимка.
4. Провести проектирующие лучи из концов заданных отрезков в центр проекции  $S$ . Пересечения этих лучей с соответствующими линиями, полученными в плоскости снимка, определяют положение изображений искомых отрезков.

Для горизонтального аэроснимка точка схода изображений параллельных и горизонтальных линий находится в бесконечности, так как проектирующий луч  $SI$  будет параллелен плоскости аэроснимка  $P$ . Поэтому семейство горизонтальных и параллельных прямых изображается на горизонтальном аэроснимке также семейством параллельных прямых.

### Построение изображения прямой, лежащей под углом к линии направления съемки

Для построения изображения прямой  $AA'$  (рис. 24), лежащей в плоскости основания  $E$  под углом  $\varphi$  к линии направления съемки  $VV$ , воспользуемся перечисленными правилами.

Продолжим линию  $AA'$  до пересечения с линией основания картины  $h_i h_r$ , получим точку  $A_0$ . Найдем точку схода прямой  $AA'$ , для этого из центра проекции  $S$  проведем прямую в плоскости действительного горизонта, параллельную линии  $AA'$ , в пересечении со снимком получим искомую точку схода  $i$ . Соединим точку  $A_0$  с точкой

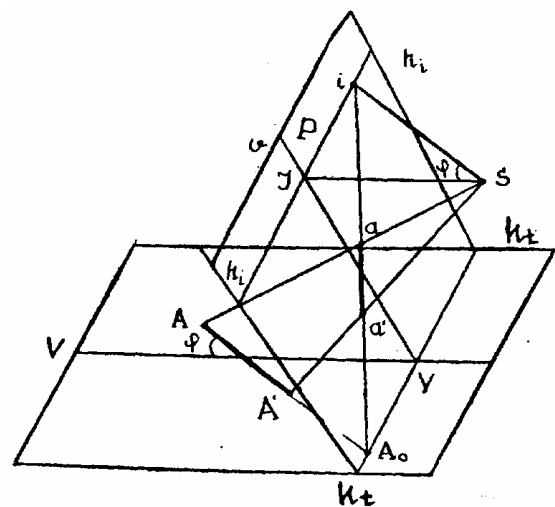


Рис. 24

схода  $i$  и проведем проектирующие лучи из точек  $A$  и  $A'$  в центр проекции  $S$ . Пересечение проектирующих лучей с линией  $A_0i$  даст нам точки  $a$  и  $a'$ .

### Построение изображения прямой, расположенной перпендикулярно к линии направления съемки

Точка пересечения прямой, перпендикулярной к линии направления съемки, с линией основания картины и точка схода данной прямой будут находиться в бесконечности, поэтому для построения прямой  $AA'$ , расположенной в плоскости основания перпендикулярно к линии направления съемки (рис. 25), воспользуемся точкой пересечения этой прямой с линией направления съемки, т.е. точкой  $A_0$ .

Изображение прямой  $AA'$  пройдет через точку  $a_0$  параллельно линии действительного горизонта  $h_i h_t$ , так как точка схода изображений прямых, параллельных линии  $AA'$ , расположена на линии действительного горизонта и бесконечно удалена от главной точки схода  $I$ .

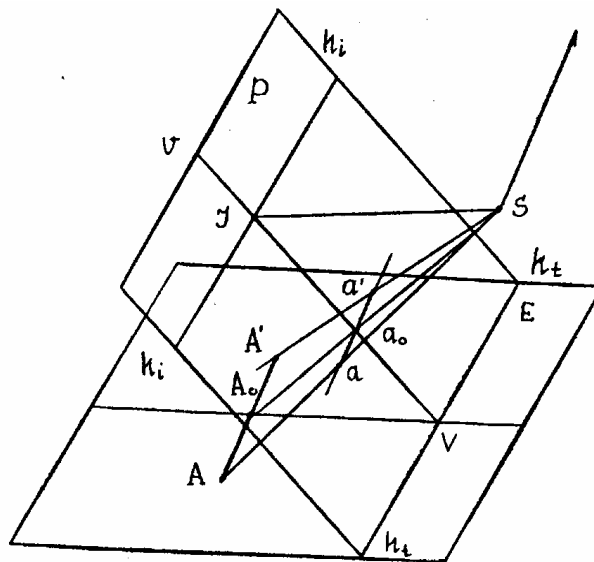


Рис. 25

Изображения горизонтальных прямых, перпендикулярных линии направления съемки, называют горизонталями, и они перпендикулярны к главной вертикали снимка  $vV$ . Чтобы получить изображение отрезка  $AA'$ , достаточно из точек  $A$  и  $A'$  провести проектирующие лучи в центр проекции  $S$ , в пересечении с полученной линией будем иметь искомые точки.

### Построение изображений вертикальных прямых

Имеем на местности точку  $B$ , которая возвышается над горизонтальной плоскостью на величину  $h$  (рис. 26).



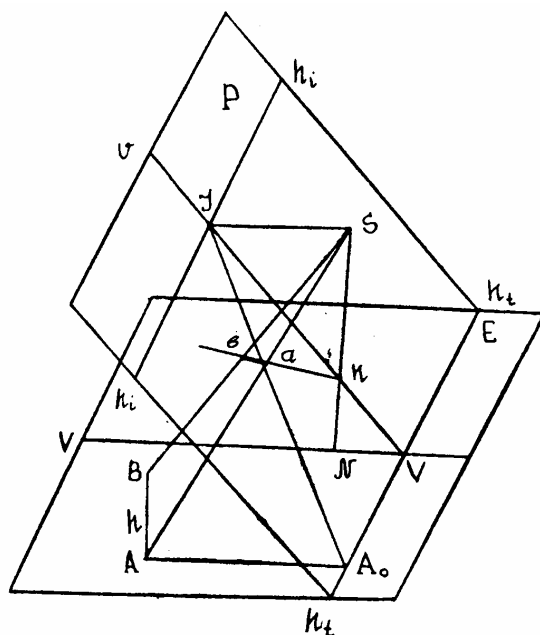


Рис. 26

$A$  – ортогональная проекция точки  $B$  на плоскость основания  $E$ .

Для построения изображения точки  $A$  воспользуемся вспомогательной прямой  $AA_0$ , проведенной параллельно линии направления съемки  $VV$  (рис. 26). Изображение точки  $A$  на снимке  $P$  будет на линии  $IA_0$ . Чтобы получить изображение искомой точки  $a$ , проведем проектирующий луч из точки  $A$  в центр проекции  $S$ .

Чтобы найти точку схода прямой  $AB$ , необходимо из центра проекции  $S$  провести прямую, параллельную отрезку  $AB$ , получим линию  $SN$ , которая в пересечении со снимком  $P$  даст нам искомую точку схода. Этой точкой схода будет служить точка надира снимка  $n$ . Соединим точки  $n$  и  $a$  прямой, получим линию, на которой будет изображение точки местности  $B$ . Проведем проектирующий луч из точки  $B$  в центр проекции  $S$ , который в пересечении с линией снимка  $an$  даст положение изображения искомой точки  $b$ .

Следовательно, все вертикальные прямые местности лежат в плоскости аэроснимка и направлены к точке надира.

#### 4. ОДИНОЧНЫЙ АЭРОСНИМОК И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

##### Зависимости между координатами точек предметной и картинной плоскостей

Примем на картинной плоскости  $P$  за начало координат главную точку схода снимка  $I$ , за ось абсцисс – линию действительного горизонта  $h_i/h_i$ , за ординат – главную вертикаль  $vV$  (рис. 27).

На предметной плоскости  $E$  за начало координат примем главную точку схода  $I'$ , за ось абсцисс – линию, параллельную линии действительного горизонта  $h_i/h_i$ , за ось ординат – линию направления съемки  $VV$ .

Найдем координаты точки  $A$  предметной плоскости  $E$ . Для этого из точки  $A$  опустим перпендикуляр на линию  $VV$ , получим точку  $A_0$ .

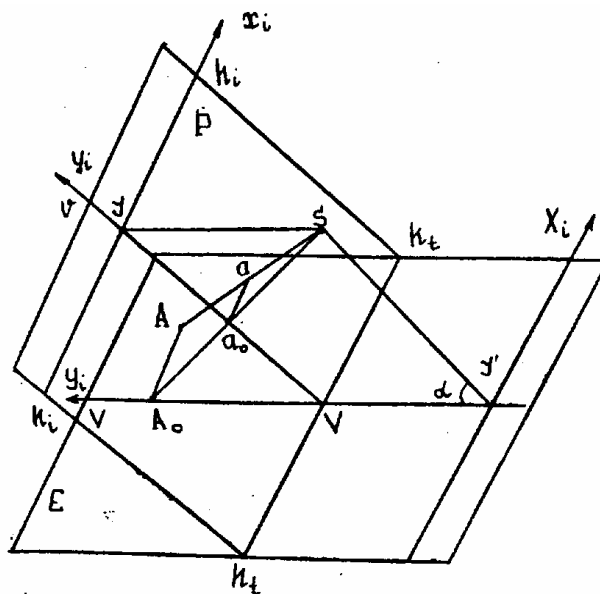


Рис. 27

В соответствии с рис. 27

$$X_i = AA_0; \quad Y_i = I'A_0;$$

$$x_i = aa_0; \quad y_i = -Ia_0.$$

Из подобных треугольников  $\Delta SAA_0 \sim \Delta Saa_0$  можно записать отношение

$$\frac{AA_0}{aa_0} = \frac{X_i}{x_i} = \frac{SA_0}{Sa_0}. \quad (40)$$

Треугольники  $\Delta SI'A_0$  и  $\Delta SIa_0$  также подобны, следовательно

$$\frac{SA_0}{Sa_0} = \frac{I'A_0}{SI} = \frac{SI'}{Ia_0}, \quad (41)$$

где  $I'A_0 = Y_i$ ;  $SI = f / \sin \alpha$  (35);  $SI' = IV = H / \sin \alpha$  (39);  $Ia_0 = -y_i$ .

Так как отношение  $\frac{SA_0}{Sa_0}$  принадлежит как уравнению (40), так и уравнению (41), то их можно приравнять, т.е.

$$\frac{X_i}{x_i} = \frac{SI'}{Ia_0} = \frac{H}{-y_i \sin \alpha}, \text{ следовательно}$$

$$X_i = -\frac{Hx_i}{y_i \sin \alpha}. \quad (42)$$

Вернемся к отношению (41):

$$\frac{Y_i \sin \alpha}{f} = \frac{H}{-y_i \sin \alpha}, \text{ отсюда}$$

$$Y_i = -\frac{Hf}{y_i \sin^2 \alpha}. \quad (43)$$

Мы получили формулы связи координат точек картинной и предметной плоскостей, когда начало координат находится в главных точках схода  $I$  и  $I'$ .

Часто за начало координат аэроснимка принимают точку нулевых искажений  $c$ , главную точку  $o$  или точку надира  $n$ . Преобразуем полученные формулы, приняв за начало координат точки  $c, o, n$ .

*Начало координат находится в точке нулевых искажений  $c$  и ее проекции  $C$*

За ось  $x_c$  на снимке принята линия неискаженных масштабов, за ось  $y_c$  — главная вертикаль. На местности за ось  $X_c$  принята линия, параллельная линии неискаженных масштабов, за ось  $Y_c$  — линия направления съемки. Точка нулевых искажений  $c$  также находится на главной вертикали  $oV$ , как и точка схода, и на местности ее проекция лежит на линии направления съемки, т.е. на оси ординат, следовательно, абсциссы точек не изменяются:  $x_c = x_i$ ;  $X_c = X_i$ .

$$X_c = -\frac{Hx_c}{y_i \sin \alpha}. \quad (44)$$

В соответствии с рис. 28

$$y_i = y_c - Ic. \quad (45)$$

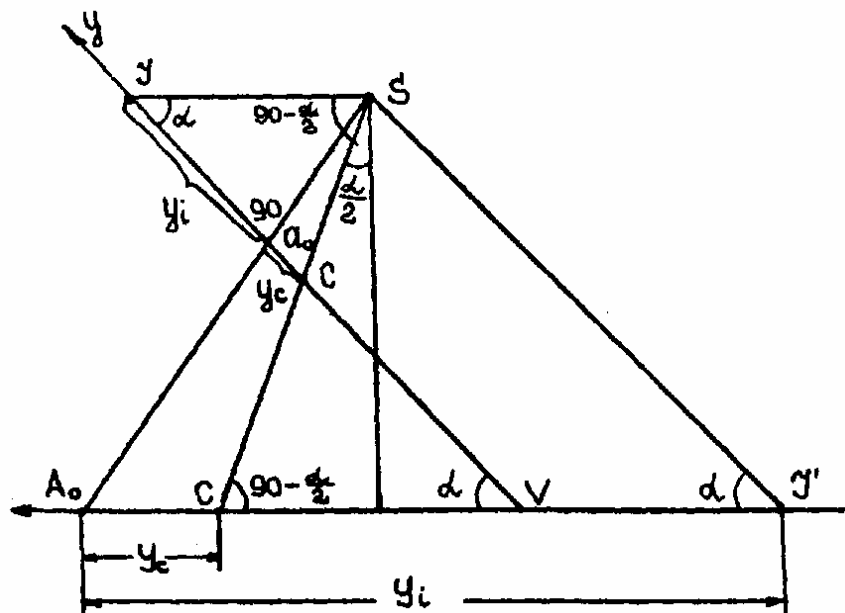


Рис. 28

В треугольнике  $\Delta SIc$  угол при вершине  $I$  равен  $\alpha$ , угол при вершине  $S$  равен  $(90^\circ - \alpha/2)$ , следовательно, угол при вершине  $c$  равен  $(90^\circ - \alpha/2)$ , т.е. треугольник  $\Delta SIc$  равнобедренный.

Тогда, с учетом формулы (35),

$$y_i = y_c - \frac{f}{\sin \alpha}. \quad (46)$$

Подставим значение  $y_i$  из формулы (46) в выражение (44):

$$X_c = -\frac{Hx_c}{\left(y_c - \frac{f}{\sin \alpha}\right) \sin \alpha} = \frac{Hx_c}{f - y_c \sin \alpha}. \quad (47)$$

На основании рис. 28 можно записать

$$Y_c = Y_i - CI'. \quad (48)$$

В треугольнике  $\Delta SCI'$  угол при вершине  $I'$  равен  $\alpha$ , угол при вершине  $C$  равен  $(90^\circ - \alpha/2)$ , следовательно, треугольник  $\Delta SCI'$  также равнобедренный и

$$CI' = SI' = \frac{H}{\sin \alpha}.$$

С учетом равенств (39), (43) и (46) уравнение (48) примет вид

$$Y_c = Y_i - \frac{H}{\sin \alpha} = -\frac{Hf}{y_i \sin^2 \alpha} - \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{Hf}{\left(\frac{f}{\sin \alpha} - y_c\right) \sin^2 \alpha} - \frac{H}{\sin \alpha};$$

$$Y_c = \frac{Hf}{\left(\frac{f - y_c \sin \alpha}{\sin \alpha}\right) \sin^2 \alpha} - \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{Hf}{(f - y_c \sin \alpha) \sin \alpha} - \frac{H}{\sin \alpha};$$

$$Y_c = \frac{Hf - Hf + Hy_c \sin \alpha}{(f - y_c \sin \alpha) \sin \alpha};$$

$$Y_c = \frac{Hy_c}{(f - y_c \sin \alpha)}. \quad (49)$$

*Начало координат находится в главной точке снимка  $o$  и ее проекции на местности – точке  $O$*

Так как ось ординат на снимке совпадает с главной вертикалью, а на местности с линией направления съемки, то абсциссы точек не изменятся, т.е.  $x_0 = x_i$ ;  $X_0 = X_i$ .

В соответствии с рис. 29

$$y_i = y_0 - Io, \quad (50)$$

Тогда, с учетом формулы (34)

$$y_i = y_0 - fctg\alpha. \quad (51)$$

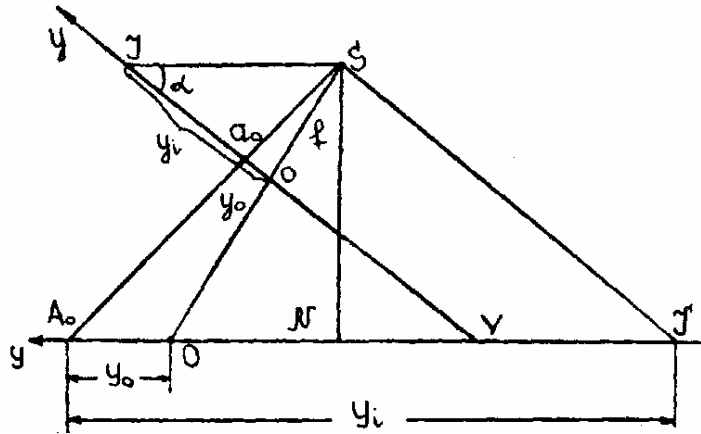


Рис. 29

Подставим полученное значение  $y_i$  в формулу (42).

$$X_0 = X_i = \frac{Hx_0}{\left(f \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} - y_0\right) \sin \alpha}.$$

Приведя выражение в скобках к общему знаменателю, получим

$$X_0 = X_i = \frac{Hx_0}{f \cos \alpha - y_0 \sin \alpha}. \quad (52)$$

На основании рис. 29

$$Y_0 = Y_i - I'O, \quad (53)$$

где  $I'O = ON + I'N$ ;  $ON = H \operatorname{tg} \alpha$ ;  $I'N = H \operatorname{ctg} \alpha$ , тогда

$$I'O = H(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha) = H \left( \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right) = H \frac{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{H}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}. \quad (54)$$

Подставим полученное значение в формулу (53):

$$Y_0 = Y_i - \frac{H}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} = -\frac{Hf}{y_i \sin^2 \alpha} - \frac{H}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{Hf}{\left(f \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} - y_0\right) \sin^2 \alpha} - \frac{H}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha};$$

$$Y_0 = \frac{Hf}{(f \cos \alpha - y_0 \sin \alpha) \sin \alpha} - \frac{H}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{Hf \cos \alpha - Hf \cos \alpha + Hy_0 \sin \alpha}{(f \cos \alpha - y_0 \sin \alpha) \sin \alpha \cdot \cos \alpha};$$

$$Y_0 = \frac{Hy_0}{(f \cos \alpha - y_0 \sin \alpha) \cos \alpha}. \quad (55)$$

*Начало координат находится в точке надира снимка  $n$  и ее проекции на местность – точке  $N$*

Как и в предыдущих случаях, абсциссы точек не изменятся, т.е.  $x_n = x_i$ ;  $X_n = X_i$ .



В рассмотренных системах координат связь между координатами точек картинной и предметной плоскостей устанавливается через элементы внутреннего и внешнего ориентирования. Для горизонтального снимка точки надира, нулевых искажений и главная совпадают. В этом случае формулы связи координат получим, подставив в выражения (42), (43), (47), (49), (59), (61)  $\alpha = 0$ .

$$X = \frac{H}{f} x; \quad (62)$$

$$Y = \frac{H}{f} y. \quad (63)$$

### Масштаб горизонтального снимка пересеченной местности

Масштаб горизонтального аэроснимка плоской местности равен  $\frac{1}{m} = \frac{f}{H} = \text{const}$ .

При фотографировании пересеченной местности формула для масштаба несколько изменится в связи с влиянием рельефа. Пусть точки  $A$  и  $B$  (рис. 31) лежат в плоскости  $T_1$ ,  $D$  и  $O$  – в плоскости  $T_0$ ,  $E$  и  $C$  – в плоскости  $T_3$ ,  $h_1$  – превышение плоскости  $T_1$  над плоскостью  $T_0$ ,  $h_2$  – превышение плоскости  $T_3$  над плоскостью  $T_0$ ,  $So = f$ ;  $SO = H$ . Масштаб точек, расположенных в плоскости  $T_0$ , будет

$$\frac{1}{m_0} = \frac{do}{DO} = \frac{f}{H};$$

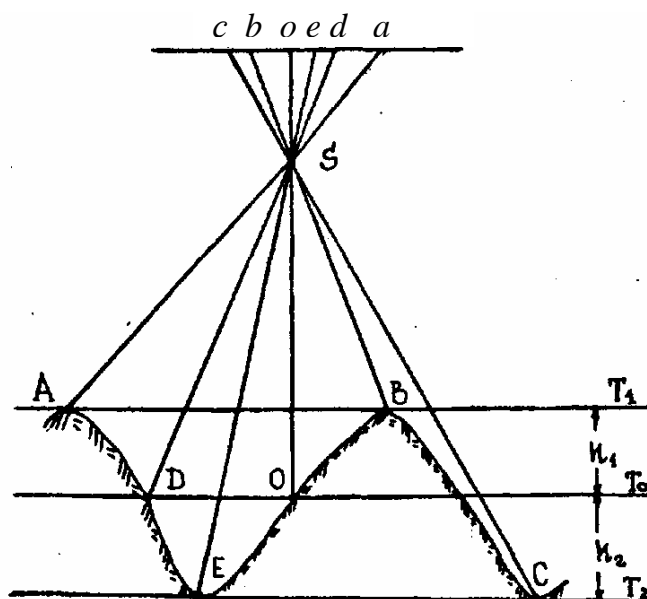


Рис. 31

Точки, принадлежащие плоскости  $T_1$ , изобразятся в масштабе

$$\frac{1}{m_1} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H - h_1}.$$

Для точек  $E$  и  $C$ , лежащих в плоскости  $T_3$ , превышение всегда будет иметь знак минус, следовательно, значение масштаба будет

$$\frac{1}{m_3} = \frac{ce}{CE} = \frac{f}{H - h_2}.$$

Запишем формулу масштаба горизонтального аэроснимка в общем виде:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H - h}. \quad (64)$$

Начальная плоскость  $T_0$  обычно выбирается как средняя относительно всех сфотографированных точек. Относительно этой плоскости определяется высота фотографирования. Масштаб горизонтального аэроснимка пересеченной местности, как видно по формуле (64), не сохраняется постоянным, а зависит от расстояния между центром фотографирования  $S$  и горизонтальной плоскостью, содержащей данные точки местности. В меньшем масштабе изображаются точки местности, имеющие меньшие высотные отметки.

### **Масштаб наклонного снимка равнинной местности**

В отличие от масштаба горизонтального аэроснимка плоской местности масштаб наклонного снимка равнинной местности также не сохраняется постоянным, а изменяется с изменением положения и направления измеряемого отрезка.

Для вывода формулы масштаба наклонного аэроснимка воспользуемся уравнением связи координат точек картинной и предметной плоскостей, когда начало координат находится в точке нулевых искажений. На основании выражения (47) запишем отношение

$$\frac{x}{X} = \frac{1}{m} = \frac{f - y \sin \alpha}{H}. \quad (65)$$

Как видно, отношение (65) будет меняться с изменением ординаты  $y$ . Для горизонталей  $y = const$ , следовательно масштаб аэроснимка для каждой горизонтали будет постоянным, а вдоль главной вертикали – переменным.

Определим масштаб на линии неискаженных масштабов, главной горизонтали, надирной горизонтали, линии действительного горизонта и основания картины.



Для горизонтали, проходящей через точку нулевых искажений,  $y = 0$ , поэтому формула (64) принимает вид

$$\frac{1}{m_c} = \frac{f}{H}, \quad (66)$$

т.е. масштаб горизонтали, проходящей через точку нулевых искажений, равен масштабу горизонтального аэроснимка, поэтому данная горизонталь носит название линии неискаженных масштабов. Для главной горизонтали

$$y_0 = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Известно, что  $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ , поэтому

$$y_0 = f \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}. \quad (67)$$

Подставим  $y_0$  из формулы (67) в отношение (65):

$$\frac{1}{m_0} = \frac{f - f \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \sin \alpha}{H} = \frac{f - f + f \cos \alpha}{H};$$

$$\frac{1}{m_0} = \frac{f \cos \alpha}{H}. \quad (68)$$

Для надирной горизонтали

$$y_n = -f \cdot \operatorname{tg} \alpha + f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = -f \cdot \operatorname{tg} \alpha + f \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}. \quad (69)$$

Подставим значение  $y_n$  из формулы (69) в отношения (65):

$$\frac{1}{m_n} = \frac{f + f \cdot \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha - f(1 - \cos \alpha)}{H} = \frac{f}{H} \left( 1 + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} - 1 + \cos \alpha \right);$$

$$\frac{1}{m_n} = \frac{f}{H} \left( \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} + \cos \alpha \right) = \frac{f}{H} \left( \frac{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}{\cos \alpha} \right);$$

$$\frac{1}{m_n} = \frac{f}{H \cos \alpha}. \quad (70)$$

Для линии действительного горизонта  $y_i = \frac{f}{\sin \alpha}$ , следовательно

$$\frac{1}{m_i} = \frac{f - \frac{f}{\cos \alpha} \cdot \cos \alpha}{H} = 0. \quad (71)$$

Для основания картины  $y_t = \frac{f}{\sin \alpha} - \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{f - H}{\sin \alpha}$ .

Подставим полученное значение  $y_t$  в отношение (65):

$$\frac{1}{m_t} = \frac{f - \left( \frac{f - H}{\sin \alpha} \right) \cdot \sin \alpha}{H} = 1. \quad (72)$$

Масштаб аэроснимка по главной вертикали или по произвольному направлению не может быть выражен такими простыми зависимостями, так как он непрерывно изменяется при переходе от одной точки к другой. В общем случае масштаб аэроснимка следует выражать как отношение бесконечно малых отрезков

$$\frac{1}{m} = \frac{\Delta \ell}{\Delta L}.$$

Общую формулу масштаба в этом случае можно записать как

$$\frac{1}{m} = \frac{y_i^2 \sin \alpha}{H \sqrt{(x_i \sin \gamma - y_i \cos \gamma)^2 + f^2 \sin^2 \gamma}}.$$

Здесь начало координат находится в главной точке схода  $I$  (рис. 32).

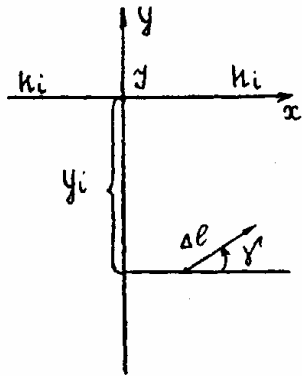


Рис. 32

### Искажение направлений под влиянием наклона снимка

За вершину направлений на аэроснимке выберем точку  $a$  (рис. 33).

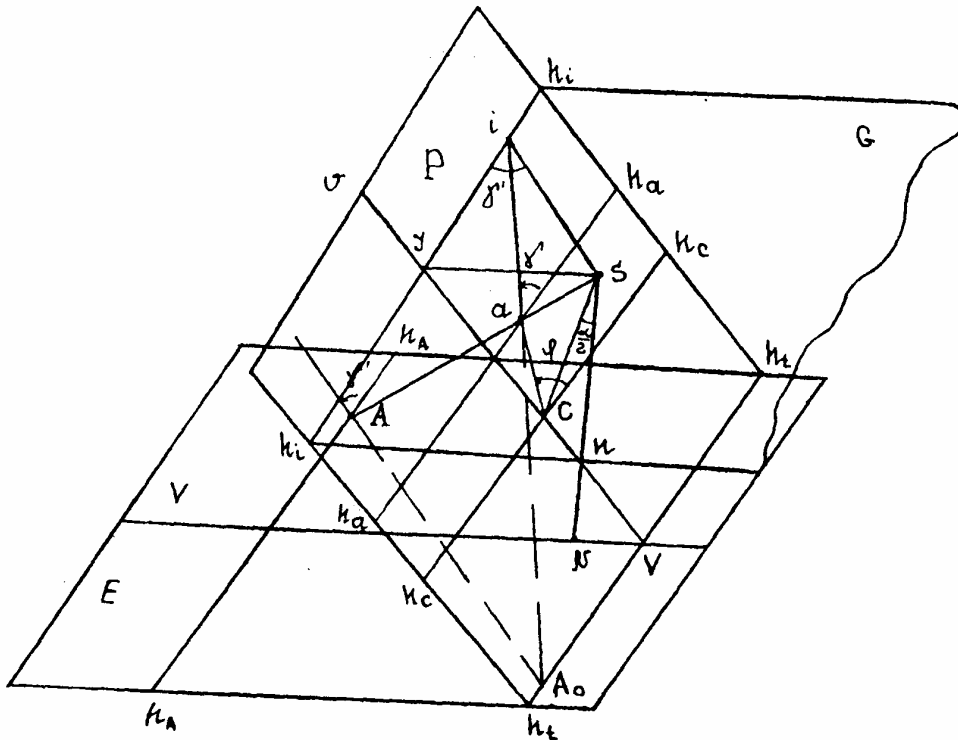


Рис. 33

Приняв за полюс точку нулевых искажений  $c$ , а за полярную ось – линию неискаженных масштабов  $h_c h_c$ , будем иметь полярные координаты: угол  $\varphi$  (рис. 33) и радиус-вектор  $r = ca$ . Проведем из точки  $a$  произвольное направление  $ai$ , составляющее с горизонталью  $h_a h_a$  угол  $\gamma$ .

Найдем точку на местности, соответствующую точке снимка  $a$ . Для этого продолжим линию  $ai$  до пересечения с линией основания картины  $h_i h_i$ , получим точку  $A_0$ . Центр проекции  $S$  соединим с точкой  $i$  и из точки  $A_0$  проведем прямую, параллельную  $Si$ .

Получим линию на местности, соответствующую линии аэроснимка  $ai$ , на которой находится точка местности  $A$ . Для определения положения точки  $A$  проведем проектирующий луч  $Sa$ , который в пересечении с построенной прямой даст искомую точку. Через точку  $A$  проведем прямую перпендикулярно линии направления съемки  $VV$ . Угол между линиями  $h_a h_a$  и  $AA_0$  обозначим  $\gamma'$ . В плоскости действительного горизонта  $G$  углу  $\gamma'$  равен угол между линией действительного горизонта  $h_i h_i$  и линией  $Si$ , так как прямая  $h_a h_a$  параллельна линии действительного горизонта, а прямая  $Si$  – параллельна линии  $AA_0$ . В общем случае угол  $\gamma'$  не равен углу  $\gamma$ . Искажение направления  $\Delta\gamma$ , вызванное наклоном аэроснимка, будет

$$\Delta\gamma = \gamma - \gamma'. \quad (73)$$

Плоскость действительного горизонта  $G$ , в которой лежат лучи  $SI$  и  $Si$ , повернем вокруг линии действительного горизонта  $h_i h_i$  до совмещения с плоскостью снимка  $P$ ; так как треугольник  $\Delta S Ic$  равнобедренный, точка  $S$  совпадает с точкой  $c$  (рис. 34). Горизонталь  $h_a h_a$  параллельна линии действительного горизонта  $h_i h_i$ , следовательно, угол при точке  $i$  между линиями  $h_i h_i$  и  $ia$  равен  $\gamma$ , а угол при вершине  $i$  в треугольнике  $\Delta iaS$  равен  $\Delta\gamma$ . В этом же треугольнике угол при вершине  $a$  равен  $180^\circ - (\varphi - \gamma)$ , тогда  $\sin[180^\circ - (\varphi - \gamma)] = \sin(\varphi - \gamma)$ .

Используя теорему синусов, напишем

$$\frac{\sin(-\Delta\gamma)}{r} = \frac{\sin(\varphi - \gamma)}{Si},$$

откуда

$$\sin(-\Delta\gamma) = \frac{r}{Si} \sin(\varphi - \gamma). \quad (74)$$

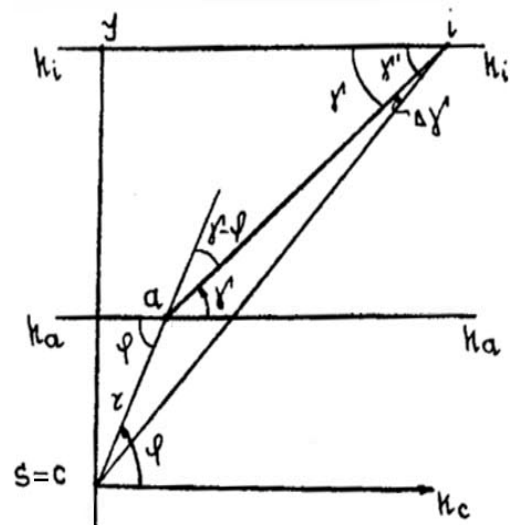


Рис. 34

Из прямоугольного треугольника  $\Delta ISi$  имеем

$$Si = \frac{SI}{\sin \gamma}, \text{ где } SI = \frac{f}{\sin \alpha},$$

следовательно,

$$Si = \frac{f}{\sin \alpha \sin(\gamma - \Delta\gamma)}. \quad (75)$$

Подставим полученное значение  $Si$  в формулу (74):

$$\sin \Delta\gamma = -\frac{r}{f} \sin \alpha \sin(\varphi - \gamma) \sin(\gamma - \Delta\gamma)$$

или

$$\sin \Delta\gamma = -\frac{r}{f} \sin \alpha \sin(\varphi - \gamma) [\sin \gamma \cos \Delta\gamma - \cos \gamma \sin \Delta\gamma]. \quad (76)$$

Поделим обе части уравнения (76) на  $\cos \Delta\gamma$ .

$$\operatorname{tg} \Delta\gamma = -\frac{r}{f} \sin \alpha \sin(\varphi - \gamma) [\sin \gamma - \cos \gamma \operatorname{tg} \Delta\gamma].$$

Перенесем члены, содержащие  $\operatorname{tg} \Delta\gamma$ , влево:

$$\operatorname{tg} \Delta\gamma \left[ 1 - \frac{r}{f} \sin \alpha \sin(\varphi - \gamma) \cos \gamma \right] = -\frac{r}{f} \sin \alpha \sin(\varphi - \gamma) \sin \gamma. \quad (77)$$

Решим равенство (77) относительно  $\operatorname{tg} \Delta\gamma$ :

$$\operatorname{tg} \Delta\gamma = -\frac{r}{f} \frac{\sin \alpha \sin(\varphi - \gamma) \sin \gamma}{1 - \frac{r}{f} \sin \alpha \sin(\varphi - \gamma) \cos \gamma}. \quad (78)$$

Как видно из выражения (78), величина искажения зависит от полярных координат точки, из которой проведено направление  $r$ ,  $\varphi$  и от угла  $\gamma$ . При  $r = 0$ ,  $\Delta\gamma = 0$ , т.е. наклон аэроснимка не искажает направлений выходящих из точки нулевых искажений  $c$ , следовательно, в этой точке углы на снимке равны соответственным углам на местности. Поэтому точка  $c$  и называется точкой нулевых искажений.

Для плановых аэроснимков формулу (78) можно упростить, отбросив в знаменателе второй член как малую величину, тогда

$$\operatorname{tg} \Delta\gamma = -\frac{r}{f} \sin \alpha \sin(\varphi - \gamma) \sin \gamma. \quad (79)$$

Определим искажения направлений в главной точке  $o$  и точке надира  $n$  для планового аэроснимка. Для главной точки  $r = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$  и  $\varphi = 90^\circ$ . Подставим эти величины в формулу (79):

$$\operatorname{tg} \Delta\gamma = -\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sin \alpha \sin(90^\circ - \gamma) \sin \gamma = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \sin \alpha \sin \gamma \cos \gamma;$$

$$\operatorname{tg} \Delta \gamma = -2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \frac{1}{2} \sin 2\gamma = -\sin^2 \frac{\alpha}{2} \sin 2\gamma. \quad (80)$$

Для точки надира  $r = f \left( \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)$  и  $\varphi = 270^\circ$ , тогда

$$\operatorname{tg} \Delta \gamma = - \left( \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha \sin (270^\circ - \gamma) \sin \gamma = \left( \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \right) \sin \alpha \sin \gamma \cos \gamma;$$

$$\operatorname{tg} \Delta \gamma = \left( \frac{\sin^2 \alpha - \cos \alpha + \cos^2 \alpha}{\sin \alpha \cos \alpha} \right) \sin \alpha \sin \gamma \cos \gamma = \frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha} \frac{1}{2} \sin 2\gamma;$$

$$\operatorname{tg} \Delta \gamma = \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha} \sin 2\gamma. \quad (81)$$

Таким образом, в случае равнинной местности и при наличии наклона аэроснимка будут происходить искажения направлений. В точке  $c$  направления не искажаются. При  $\alpha \leq 1^\circ$  для главной точки  $o$  и точки надира  $n$  ошибки направлений будут невелики, и ими можно пренебречь. При больших углах наклона аэроснимка за вершину направлений в фотограмметрических работах надо принимать точку нулевых искажений  $c$ .

### Смещение точек на аэроснимке под влиянием его угла наклона

Рассмотрим два аэроснимка: горизонтальный  $P_0$  и наклонный  $P$ . Оба аэроснимка получены из одного центра фотографирования  $S$  (рис. 35). Наклонный снимок пересекается с горизонтальным по линии неискаженных масштабов  $h_c h_c$ .

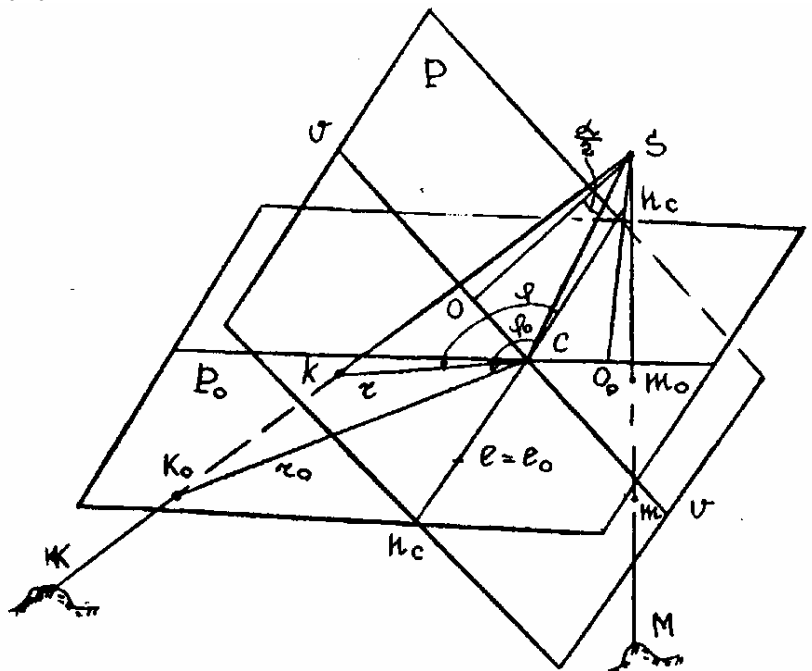


Рис. 35

Рассмотрим изображения точек местности  $K, L, M$  на горизонтальном и наклонном снимках. Проведем из точки нулевых искажений  $c$  радиус-векторы  $r$  и  $r_0$  к изображениям точек  $K, L, M$ . Углы  $\varphi$  и  $\varphi_0$ , как следует из предыдущего, равны.

Если снимок  $P$  повернуть вокруг линии неискаженных масштабов  $h_c$  до совмещения со снимком  $P_0$  (рис. 36), то радиус-векторы  $r$  и  $r_0$  совпадут, но точка  $k$  окажется смещенной относительно точки  $k_0$  по радиус-вектору, следовательно, наклон аэроснимка вызывает радиальное смещение. Точка  $k$  приблизится к точке  $c$ , а точка  $m$  удалится от нее. Точка  $\ell$  занимает одинаковое положение на горизонтальном и наклонном снимках, потому что масштаб наклонного аэроснимка для области выше линии неискаженных масштабов меньше масштаба горизонтального аэроснимка, для области ниже линии неискаженных масштабов – больше масштаба горизонтального аэроснимка, а на линии  $h_c$  масштаб равен  $\frac{f}{H}$ .

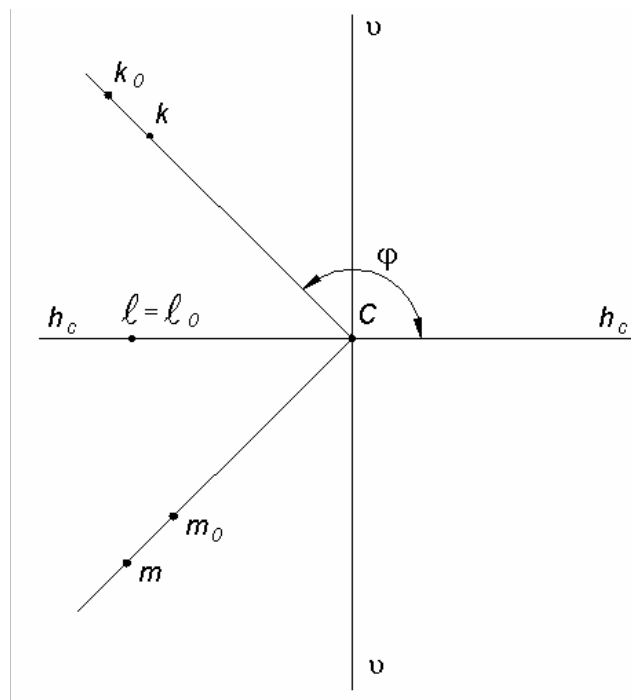


Рис. 36

Смещение точки  $\delta_\alpha$  обусловленное наклоном аэроснимка, будет

$$\delta_\alpha = r - r_0. \quad (82)$$

Радиус-векторам  $r$  и  $r_0$  на местности соответствует радиус-вектор  $R$ , который можно вычислить по формуле

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2},$$

где  $X = \frac{Hx}{f - y \sin \alpha}$ ,  $Y = \frac{Hy}{f - y \sin \alpha}$ ,

следовательно,

$$R = \frac{H}{f - y \sin \alpha} \sqrt{x^2 + y^2},$$

здесь  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ , тогда

$$R = \frac{Hr}{f - y \sin \alpha}. \quad (83)$$

На основании рис. 37 можно записать  $y = r \cos(\varphi - 90^\circ) = r \sin \varphi$ . Подставим полученное значение в формулу (83), будем иметь

$$R = \frac{Hr}{f - r \sin \alpha \sin \varphi}. \quad (84)$$

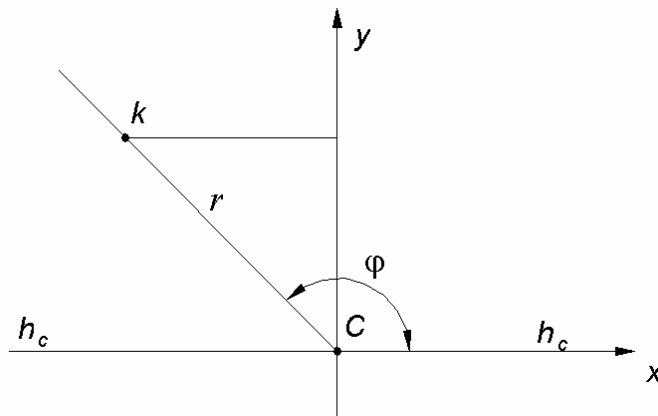


Рис. 37

Если бы снимок был горизонтален, т.е.  $\alpha = 0^\circ$ , то вместо  $r$  имели бы  $r_0$ , и значение  $R$  вычислялось по формуле

$$R = \frac{Hr_0}{f}. \quad (85)$$

Поделим равенство (84) на равенство (85), получим

$$\frac{r \cdot f}{r_0 (f - r \sin \alpha \sin \varphi)} = 1. \quad (86)$$

Из формулы (82) найдем  $r_0$ , подставим его в формулу (86) и решим полученное уравнение относительно  $\delta_\alpha$ :

$$\delta_\alpha = -\frac{r^2 \sin \alpha \sin \varphi}{f - r \sin \alpha \sin \varphi}. \quad (87)$$

Выражение (87) показывает величину смещения точки из-за наклона аэроснимка. При малых углах наклона, т.е. при плановой аэросъемке можно использовать приближенную формулу

$$\delta_\alpha = -\frac{r^2}{f} \sin \alpha \sin \varphi. \quad (88)$$

## Смещение точек на аэроснимке под влиянием рельефа местности

Получим на аэроснимке  $P$  изображение точки местности  $A$ , имеющей превышение  $h$  над горизонтальной плоскостью  $E$ , относительно которой определялась высота фотографирования  $H = SN$  (рис. 38).

Точка  $A_0$  – это ортогональная проекция точки  $A$  на горизонтальную плоскость  $E$ . Изображение точки  $A$  будет в точке  $a$ , расположенной на радиус-векторе  $r = an$ , который проходит через точку надира снимка  $n$ ,  $aa_0$  – перспектива вертикальной линии  $AA_0$ .

Если бы точка  $A$  не имела превышения, то изображение ее было бы в точке  $a_0$ , таким образом, отрезок  $aa_0$  является смещением точки аэроснимка из-за влияния рельефа, т.е.  $\delta_h = aa_0$ .

Следовательно, рельеф местности вызывает смещения контурных точек аэроснимка по направлениям, проходящим через точку надира  $n$ . Полярными координатами точки  $a$  будут радиус-вектор  $r = na$  и полярный угол  $\varphi$ . Полюсом является точка надира  $n$ , а полярной осью – надирная горизонталь  $h_n h_n$ .

Для вывода формулы смещения точек под влиянием рельефа выполним вспомогательные построения. Из точки  $a_0$  проведем горизонталь до встречи с главной вертикалью, получим точку  $q$ . Проведем линию из точки  $a_0$ , параллельную  $A_0N$  до пересечения с отвесной прямой  $SN$ , получим точку  $K$ . Точки  $K$  и  $q$  соединим прямой, которая будет перпендикулярна к линии  $SN$ . Полученная плоскость  $a_0qK$  параллельна плоскости  $E$ . И через точку  $a_0$  проведем прямую, параллельную  $SN$ , получим  $a_0a' \parallel SN \parallel AA_0$ .

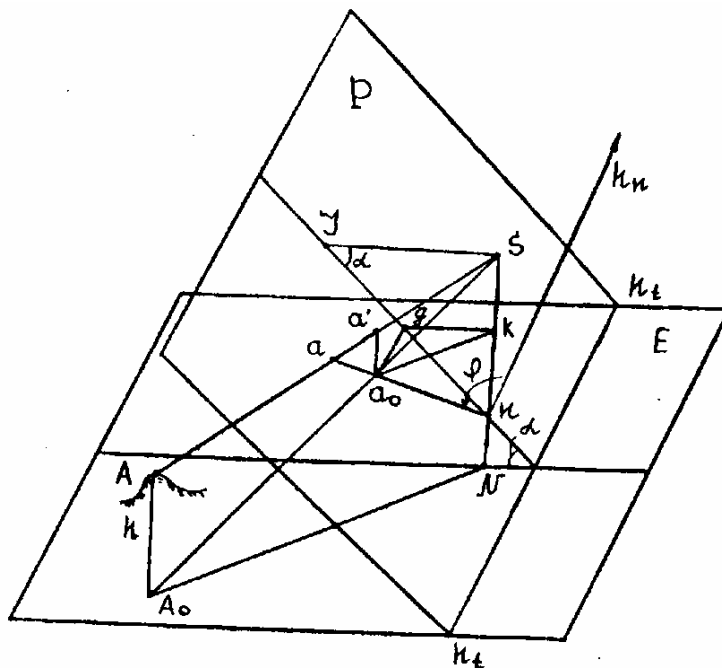


Рис. 38



Рассмотрим подобные треугольники  $\Delta a'a_0 \sim \Delta Sna$ . Из подобия этих треугольников можно записать отношение

$$\frac{\delta_h}{a'a_0} = \frac{r}{Sn}.$$

Решим полученное равенство относительно  $\delta_h$ :

$$\delta_h = \frac{ra'a_0}{Sn}. \quad (89)$$

В формуле (89)  $Sn = \frac{f}{\cos \alpha}$  (32), а величину  $a'a_0$  найдем из подобных треугольников  $\Delta SAA_0 \sim \Delta Sa'a_0$ ;  $\Delta Sa_0K \sim \Delta SA_0N$ .

$$\frac{Sa_0}{SA_0} = \frac{a'a_0}{h} = \frac{SK}{H}, \text{ откуда}$$

$$a'a_0 = \frac{h}{H} SK, \quad (90)$$

в свою очередь

$$SK = Sn - Kn \quad (91)$$

Из прямоугольного треугольника  $\Delta qKn$  можно записать

$$\frac{Kn}{qn} = \sin \alpha; \quad Kn = qn \sin \alpha. \quad (92)$$

величину  $qn$  найдем из прямоугольного треугольника  $\Delta a_0qn$ :

$$\frac{qn}{a_0n} = \cos(\varphi - 90^\circ); \quad qn = (r - \delta_h) \sin \varphi, \quad (93)$$

следовательно

$$Kn = (r - \delta_h) \sin \alpha \sin \varphi, \quad (94)$$

Подставим формулы (32) и (94) в равенство (91):

$$SK = \frac{f}{\cos \alpha} - (r - \delta_h) \sin \alpha \sin \varphi.$$

Полученное значение  $SK$  подставим в формулу (90):

$$a'a_0 = \frac{h}{H} \left[ \frac{f}{\cos \alpha} - (r - \delta_h) \sin \alpha \sin \varphi \right]. \quad (95)$$

Подставим значение  $a'a_0$  из формулы (95) и  $Sn$  из формулы (32) в выражение (89).

$$\delta_h = \frac{rh \cos \alpha}{H f} \left[ \frac{f}{\cos \alpha} - (r - \delta_h) \sin \alpha \sin \varphi \right].$$

В полученном равенстве вынесем за скобку величину  $\frac{f}{\cos \alpha}$ .

$$\delta_h = \frac{rh \cos \alpha}{H f} \frac{f}{\cos \alpha} \left[ 1 - \frac{\cos \alpha}{f} (r - \delta_h) \sin \alpha \sin \varphi \right],$$

где  $\cos \alpha \sin \alpha = \frac{1}{2} \sin 2\alpha$ , тогда

$$\delta_h = \frac{rh}{H} \left[ 1 - \frac{r}{2f} \sin 2\alpha \sin \varphi + \frac{\delta_h}{2f} \sin 2\alpha \sin \varphi \right].$$

Перенесем члены, содержащие  $\delta_h$ , в левую сторону:

$$\delta_h - \frac{rh}{H} \frac{\delta_h}{2f} \sin 2\alpha \sin \varphi = \frac{rh}{H} \left( 1 - \frac{r}{2f} \sin 2\alpha \sin \varphi \right).$$

Решим полученное равенство относительно  $\delta_h$ :

$$\delta_h = \frac{rh}{H} \frac{\left( 1 - \frac{r}{2f} \sin 2\alpha \sin \varphi \right)}{\left( 1 - \frac{rh}{2Hf} \sin 2\alpha \sin \varphi \right)}. \quad (96)$$

Формула (96) выражает величину смещения точки из-за рельефа местности.

При  $r = 0$   $\delta_h = 0$ , следовательно, рельеф не вызывает смещения точки, совпадающей с точкой надира.

При  $\alpha = 0$

$$\delta_h = \frac{rh}{H}. \quad (97)$$

На горизонтальном аэроснимке смещения точек прямо пропорциональны их расстояниям от главной точки (так как на горизонтальном аэроснимке главная точка совпадает с точкой надира), превышению точек местности относительно начальной плоскости и обратно пропорциональны высоте фотографирования.

### Искажение направлений и углов на аэроснимке под влиянием рельефа местности

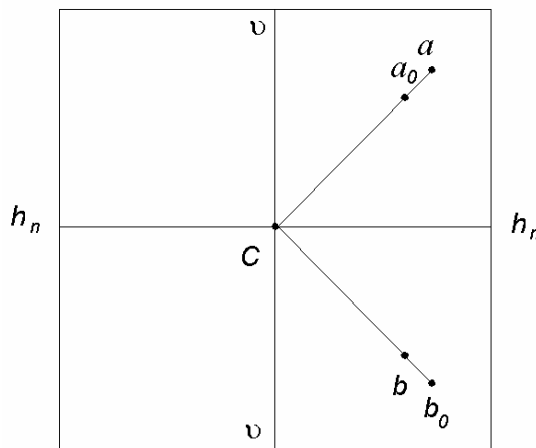


Рис. 39

Если фотографируемая местность не является горизонтальной плоскостью, то к искажениям направлений, вызванным влиянием угла наклона аэроснимка, добавляются искажения направлений, вызванные рельефом местности.

*За вершину принята точка надира*

Точка надира является точкой схода изображений вертикальных прямых, следовательно, линейные смещения точек из-за влияния рельефа  $aa_0$ , и  $bb_0$  (рис. 39) направлены к точке надира  $n$ .

Поэтому направления на аэроснимке, проведенные из точки надира, не будут искажены из-за рельефа местности.

*За вершину направлений принята главная точка*

На снимке получили изображение точки местности  $a$  (рис. 40), которое имеет искажение из-за рельефа местности  $aa_0 = \delta_h$ . Искажение направлено к точке надира  $n$ . Вместо направления  $oa_0$  будет измерено направление  $oa$ , и мы допустим ошибку направления  $\Delta\varphi$ . Чтобы найти значение  $\Delta\varphi$ , проведем перпендикуляр из точки  $a_0$  на линию  $oa$ , получим точку  $a'$ . Из прямоугольного треугольника  $\Delta oa_0a'$

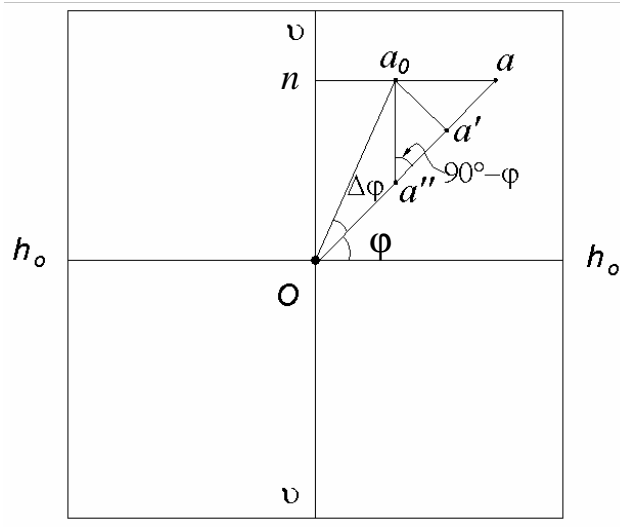


Рис. 40

$$\sin \Delta\varphi = \frac{a_0a'}{a_0o}. \quad (98)$$

Для плановых аэроснимков можно принять

$$oa_0 \approx r_0 \approx R \frac{f}{H}, \quad (99)$$

где  $R$  – радиус-вектор на местности.

Величину  $a'a_0$  найдем из прямоугольного треугольника  $\Delta a''a_0a'$ , в котором линия  $a''a_0$  проведена параллельно главной вертикали  $vu$ .

$$a'a_0 = a''a_0 \sin(90^\circ - \varphi) = a''a_0 \cos \varphi. \quad (100)$$

В равенстве (100) неизвестное  $a_0a''$  найдем из подобия треугольников  $\Delta noa \sim \Delta a''a_0a$ ,

$$\frac{a_0a''}{a_0a} = \frac{on}{an}, \quad (101)$$

где  $an = r$ ,  $on = f \cdot \operatorname{tg} \alpha$ ,  $a_0a = \delta_h \approx \frac{rh}{H}$ ,

тогда

$$a_0a'' = \frac{rh}{Hr} f \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{H} f \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (102)$$

Подставим равенство (102) в формулу (100):

$$a'a_0 = \frac{hf}{H} \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi. \quad (103)$$

Значения  $a_0a'$  из формулы (103) и  $oa_0$  из формулы (99) подставим в выражение (98):

$$\sin \Delta\varphi = \frac{Hfh}{HRf} \operatorname{tg}\alpha \cos \varphi = \frac{h}{R} \operatorname{tg}\alpha \cos \varphi. \quad (104)$$

*За вершину направлений принята точка нулевых искажений*

Вывод формулы, по которой можно определить величину искажения направления  $\Delta\varphi$ , аналогичен вышеизложенному. Отличие состоит только в том, что вместо  $on$  (формула (31)) необходимо подставить  $cn$  (рис. 41).

$$cn = on - oc = f \left( \operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) = f \left( \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \right);$$

$$cn = f \left( \frac{\sin^2 \alpha - \cos \alpha + \cos^2 \alpha}{\cos \alpha \sin \alpha} \right) = f \left( \frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha \sin \alpha} \right) = f \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha},$$

тогда  $a_0a' = \frac{h}{H} f \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha} \cos \varphi$  и  $\sin \Delta\varphi = \frac{Hfh}{HRf} \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha} \cos \varphi$ .

При  $\alpha < 3^\circ$   $\cos \alpha \approx 1$ , следовательно

$$\sin \Delta\varphi = \frac{h}{R} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cos \varphi. \quad (105)$$

Искажения направлений вследствие влияния рельефа местности достигают значительных величин, если в качестве вершины направлений выбрать главную точку  $o$  или точку нулевых искажений  $c$ .

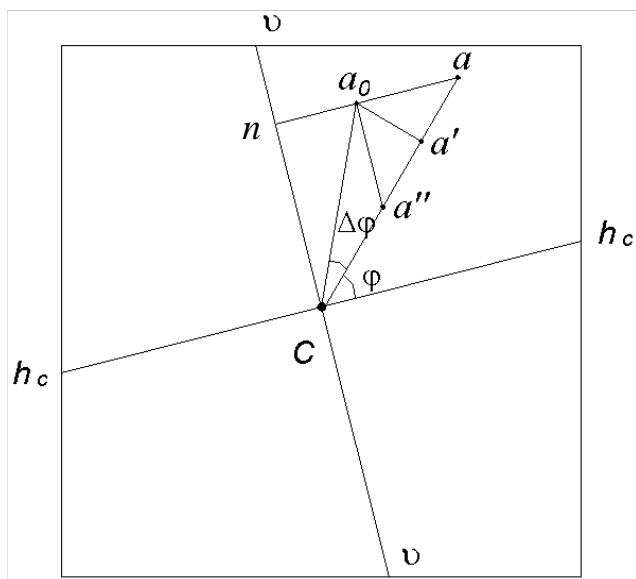


Рис. 41

На наклонном аэроснимке гористой местности углы, измеряемые в любой точке снимка, не будут равны углам, измеряемым в соответствующей точке местности, даже если вершина угла будет в точке надира снимка или в точке нулевых искажений. Направления, проведенные из точки надира, не искажаются от влияния рельефа местности, но искажаются при наличии угла

наклона снимка. Направления, проведенные из точки нулевых искажений, не зависят от угла наклона аэроснимка, но меняются с изменением превышений сфотографированных точек. Направления, проведенные из главной точки аэроснимка, искажаются и при наличии угла наклона снимка, и при всхолмленном рельефе местности.

### **Графическая фототриангуляция**

Координаты контурных точек можно определить фотограмметрическим сгущением сети опорных геодезических точек. Наиболее простым методом такого сгущения является графическая фототриангуляция, которая позволяет определить только плановое положение контурных точек, необходимых, например, для трансформирования снимков.

Для построения сети графической фототриангуляции достаточно на снимке выбрать центры направлений и связующие точки в зоне тройного продольного перекрытия. В сеть также включаются геодезические опознаки, необходимые для редуцирования, и точки, необходимые для трансформирования снимков.

В качестве центра направлений (центральная точка) на аэроснимке выбирают контурную точку внутри окружности радиуса  $r = 0,02f$  с центром в главной точке снимка. Из рассмотренного выше выяснили, что главная точка никакими характерными особенностями не обладает. Но на плановом аэроснимке в непосредственной близости к главной точке находятся точки надира и нулевых искажений. Поэтому направления, проведенные из центральной точки, будут иметь незначительные искажения как из-за рельефа местности, так и из-за наклона аэроснимка. Направление, проведенное через центральные точки двух смежных снимков, называется начальным.

Связующие точки выбираются в зоне тройного продольного перекрытия снимков по обе стороны от начального направления (рис. 42) на расстоянии, приблизительно равном расстоянию между центральными точками.

Геодезические точки накальвают, руководствуясь материалами полевой привязки аэроснимков. Трансформационные точки выбираются вблизи углов четырехугольника, образованного средними линиями продольного и поперечного перекрытия снимков. Все запроектированные точки перекальвают на соседние снимки. По завершении накола точек для каждого аэроснимка изготавливают восковку направлений и переходят к построению ромбической сети.

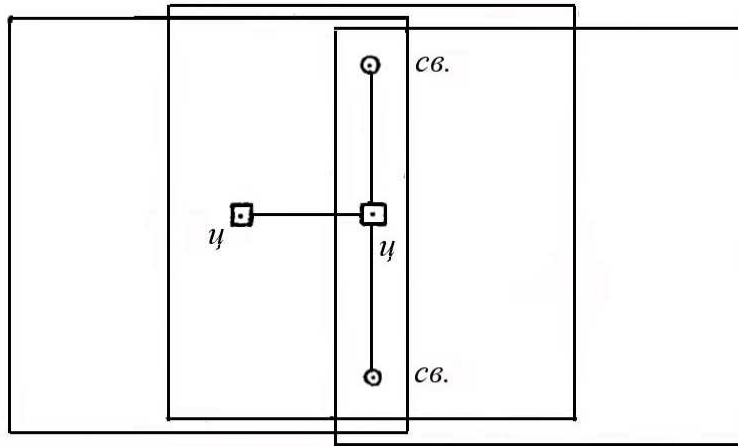


Рис. 42

Восковки направлений первого и второго снимков взаимно ориентируют так, чтобы одноименные начальные направления совпали, а расстояние между центральными точками было в 1,5 – 2 раза крупнее, чем аналогичное расстояние на снимках. Это расстояние определяет масштаб сети фототриангуляции.

Третья восковка и все последующие укладываются так, чтобы одноименные начальные направления совпадали, а направления на связующие точки пересекались в одной точке (рис. 43).

После монтажа восковок на общую восковку перекальвают связующие, геодезические, трансформационные точки в пересечении одноименных направлений и те центральные точки, из которых выходят направления.

Полученные точки представляют собой плановое положение контурных точек местности в произвольном масштабе и ортогональной проекции, так как положение точек определено угловыми засечками, а центральные точки выбраны таким образом, чтобы углы не искажались.

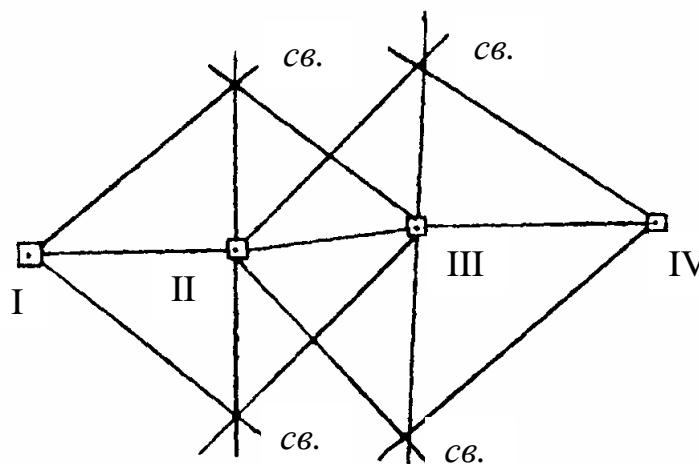


Рис. 43

## Редуцирование

Процесс приведения сети фототриангуляции к заданному масштабу  $1:M$  и ее ориентирование относительно геодезической системы координат называется редуцированием. Существует несколько способов редуцирования плановых сетей. Однако в настоящее время находят применение, в основном, аналитический и оптико-механический.

При аналитическом способе редуцирования вычисляют, например, коэффициент редуцирования по формуле

$$K = \frac{L}{M\ell}, \quad (106)$$

где  $L$  и  $\ell$  – соответственно расстояние между геодезическими точками на местности и в сети фототриангуляции. При наличии нескольких геодезических точек для  $K$  берут среднее значение. Этот способ редуцирования применяют при построении сетей фототриангуляции аналитическим способом.

При редуцировании сетей графической фототриангуляции, или сетей фототриангуляции, построенных на универсальных приборах, наиболее удобно применять оптико-механический способ. Задача редуцирования в этом случае решается на специальных приборах – оптических редукторах или фоторедукторах, представляющих собой увеличитель. При редуцировании необходимо иметь основу с нанесенными на нее геодезическими точками в заданном масштабе, которую помещают на горизонтальный экран прибора. В кассету редуктора закладывают сеть. Изменяя масштаб изображения и перемещая основу по экрану, совмещают изображения опорных точек сети с одноименными опорными точками основы. После совмещения геодезических точек на основу перекальвают все точки сети.

## 5. ФОТОСХЕМЫ И ФОТОПЛАНЫ. ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ

### Фотосхемы

При решении по плановым аэроснимкам некоторых задач часто бывает удобно пользоваться не отдельными аэроснимками, а составленными из них фотосхемами. Фотосхемой называется фотографическое изображение местности, полученное путем монтажа плановых аэроснимков. Их используют в качестве обзорного материала, при полевом дешифрировании, съемке рельефа, географических, геологических исследованиях, предварительных инженерно-проектировочных работах и в ряде других случаев. Фотосхему можно изготовить за очень короткие сроки после аэрофото-съемки и это следует учитывать при решении вопроса о целесообразности ее применения.

Фотосхемы делятся на маршрутные и многомаршрутные. В первом случае монтируются аэроснимки, принадлежащие одному маршруту, во втором – нескольким маршрутам.

Наиболее точный монтаж – по начальным направлениям; менее точный, но более быстрый – по контурам. Способы изготовления фотосхем зависят главным образом от их назначения. Если фотосхема предназначена для дешифрирования контуров или используется в качестве обзорного материала, то основное внимание обращается на фотографическое качество. Если изготавливаемая фотосхема предназначается для каких-либо измерений, то основное внимание при ее изготовлении обращается на ее точность. Подобного рода фотосхемы монтируют по начальным направлениям и называют уточненными. При монтировании уточненной фотосхемы на каждом аэроснимке около главной точки выбивают контурную центральную точку и опознают ее на смежных аэроснимках. Начальные направления при небольших взаимных превышениях точек не искажаются на плановом аэроснимке, поэтому очевидно, что при совмещении одноименных начальных направлений смежных аэроснимков будет устранена возможность азимутального искажения фотосхемы. На четных (или нечетных) аэроснимках карандашом проводят начальные направления. На нечетных (или четных) снимках пуансоном (рис. 44) вырезают кружки в местах наколов, облегчающие монтаж аэроснимков.

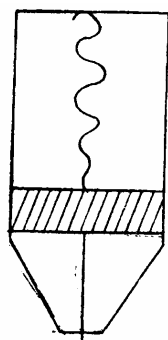


Рис. 44

При монтаже аэроснимков с пробитыми отверстиями накладывают на смежный аэроснимок, чтобы центральные точки, намеченные на нем, находились в центре кружков или равномерно смещались относительно центральных точек в продольном направлении. Оба аэроснимка закрепляют грузиками и разрезают скальпелем по фигурной линии, проходящей приблизительно по средней линии продольного перекрытия. Фигурная линия разреза дает возможность об-

ходить участки аэроснимков, заполненные наиболее важными контурами. Линейные контуры разрезают под прямым углом. По окончании монтажа первых двух аэроснимков переходят к монтированию второго с третьим и т.д. После монтирования все средние части аэроснимков наклеивают на лист картона или плотной бумаги.

О точности фотосхемы можно судить по величинам расхождений одноименных контуров на стыковых линиях смежных аэроснимков. Для этого к фотосхеме прикладывают обрезанную при монтировании часть аэроснимка, на ней прокалывают ряд контурных точек, находящихся вблизи линии разреза. Сняв обрезок аэроснимка с фотосхемы, просматривают следы проколов на фотосхеме и определяют величины уклонов наколов от соответствующих контуров. Точность фотосхемы существенно зависит



от углов наклона снимков, рельефа местности, колебаний высоты полета, погрешностей монтажа аэроснимков.

### **Дешифрирование аэроснимков**

Дешифрированием называется процесс изучения изображений аэроснимков для обнаружения, опознавания и раскрытия содержания имеющихся в натуре различных объектов и элементов местности, подлежащих отображению на топографической карте; определение их качественных и количественных характеристик, своеобразных свойств и особенностей. Топографическое дешифрирование является одним из основных процессов технологической схемы создания и обновления карт.

Для того чтобы наиболее достоверно выполнить дешифрирование, необходимо иметь аэрофотоснимки, обладающие большой информативной емкостью, хорошим фотокачеством и большой разрешающей способностью. Топографическое дешифрирование на производстве выполняется на контактных отпечатках, фотосхемах, фотопланах, полученных преимущественно на глянцевой фотобумаге, которая обладает большей информативной емкостью по сравнению с матовой, но на матовой бумаге лучше ложится карандаш и тушь, поэтому иногда используют дублированные отпечатки на глянцевой и матовой фотобумаге. Для топографических целей используют, в основном, черно-белые снимки. Цветные и спектрально-зональные снимки находят применение при специальных видах дешифрирования: лесном, для геологических целей и др.

Характерные черты и особенности различных объектов местности, способствующие распознаванию этих объектов по их фотоизображению, называются основными признаками дешифрирования. Признаки дешифрирования разделяют на прямые и косвенные.

К прямым признакам относятся форма, размеры, структура, тень, тон или цвет изображения. Эти признаки используют для определения таких объектов, которые на аэроснимках отобразились непосредственно. Рассмотрим изображение основных топографических объектов.

*Населенные пункты.* При их изображении характерна правильная геометрическая форма. В сельских населенных пунктах жилые дома обычно располагаются вдоль улиц и изображаются одинаковыми размерами. Сарай, как правило, располагаются отдельно от жилых домов. Колхозные и совхозные скотные дворы, фермы, амбары, а также школы и больницы резко отличаются от сельских жилых строений размерами. Кроме того, они обычно располагаются отдельно – вне улиц и проездов.

Пашни изображаются участками больших размеров с границами в виде прямых или слабо изогнутых линий с закруглениями на поворотах, характерными для работы современных тракторов. В зависимости от вре-

мени года и от вида посеянной культуры на снимках получаются разные тона изображений.

Лука изображаются таким же тоном, как и пашни, но, как правило, они примыкают к берегам рек, озер, болот или к опушкам лесов.

Гидрографическая сеть легко опознается, так как береговые линии рек имеют только им свойственную извилистость. Тон водной поверхности также резко отличается от тона угодий.

Дороги и тропы изображаются в виде вытянутых полос светлого, почти белого тона.

Для лесов и кустарников характерна зернистая структура. Кроны деревьев изображаются светлыми пятнами. При детальном излучении формы крон и их теней можно определить породы деревьев.

К косвенным признакам относят существующие в природе и отразившиеся на аэроснимках взаимосвязи различных объектов и явлений. Косвенные признаки позволяют выявить наличие или характеристику объекта, не изобразившегося на аэроснимке или не определяемого по прямым признакам. Наличие этих связей в сочетании с прямыми признаками смежных объектов позволяет сделать логические выводы по определению ряда объектов. Например, взаимосвязь между растительностью, влажностью и типами грунтов. По складам на железной дороге можно судить о характере перевозок. Деревянные столбы телефонно-телеграфных и низковольтных линий на снимках масштаба 1:10 000 и мельче непосредственно не изображаются, но на пашне остаются не запаханные вокруг столбов места, которые хорошо различимы на аэроснимках, а в лесах для прокладки ЛЭП прорубают просеки, также хорошо опознаваемые на аэроснимках. Наличие колодца может быть определено по тону изображения, и к нему сходятся многие тропинки. Небольшие плотины, сельские гидростанции и мельницы, закрытые кронами разросшихся деревьев, надежно опознаются по резкому расширению рек. По характеру растительности можно судить о типах заболоченных мест и т.д.

Чем больше число признаков участвовало в определении того или иного объекта и элемента местности, тем с большей полнотой и достоверностью он определяется.

В зависимости от технологии создания карт или плана, характера и изученности района работ применяют следующие методы дешифрирования снимков: полевой, камеральный, комбинированный и аэровизуальный.

Полевой метод дешифрирования аэрофотоснимков предусматривает выполнение работ непосредственно на местности. В результате полевого дешифрирования могут быть вскрыты все объекты, в том числе и не изобразившиеся на снимке. Однако этот метод очень трудоемок и требует значительных материальных затрат. Сплошное полевое дешифрирование применяют при комбинированном методе съемки, контура в этом случае

опознаются непосредственно в поле на фотоплане; при стереофотограмметрической съемке районов, имеющих особо важное хозяйственное и оборонное значение; при обновлении топографических карт в районах с интенсивным хозяйственным освоением или происшедшими существенными изменениями.

Если дешифрирование ведется по аэроснимкам, то предварительно отмечают рабочие площади аэроснимков, чтобы исключить многократное распознавание одних и тех же участков местности. Необходимо правильно спланировать маршруты полевого обследования до выхода в поле для упорядочения и ускорения работ, исключения случаев пропуска объектов, сокращения транспортных расходов и т.д. Ширина их и густота зависит от характера обследуемого ландшафта. При съемке обжитых районов прокладываемые маршруты должны обеспечить полное, без пропусков, визуальное сопоставление местности со снимком. При съемке мало обжитой местности маршруты намечаются по основным транспортным магистралям, просекам, линиям электропередач и связи, вдоль крупных рек и каналов, должны быть охвачены все имеющиеся населенные пункты и т.д. В ходе обследования определяют качественные и количественные характеристики объектов, их названия.

Полевое дешифрирование аэроснимков начинается обычно с объектов, легко и надежно распознаваемых (развилки или перекрестки дорог, угол леса и т.п.). Приблизившись к этому объекту, ориентируют аэроснимок по направлениям на окружающие объекты, двигаясь по намеченному маршруту, обследуют встречающиеся объекты и наносят их упрощенными знаками на лицевую сторону снимка. Нельзя при дешифрировании полагаться на память, так как это приводит к пропускам объектов, искажению границ контуров и другим ошибкам. Отсутствующий на местности объект, но имеющийся на снимке должен быть перечеркнут. Объекты появившиеся после аэрофотосъемки, или замаскированные должны быть нанесены на снимок путем промеров, засечек и другими приемами инструментальной съемки. В процессе дешифрирования делают дополнительные записи, характеризующие объекты, и составляют абрисы наиболее сложных ситуаций. Результаты полевого дешифрирования ежедневно следует вычерчивать тушью в соответствии с условными знаками. Вычерчивание ведется в следующем порядке: пункты геодезической основы, промышленные сооружения, населенные пункты и надписи к ним, линии связи, гидрография, элементы рельефа, границы угодий, после чего заполняют контуры угодий соответствующими условными знаками и дают их характеристики.

Камеральный метод дешифрирования предусматривает определение объектов местности и истолкование их характеристик только в процессе камерального изучения фотоизображения, без сопоставления его с существующим обликом в натуре, т.е. без выхода в поле.

Сплошное камеральное дешифрирование выполняется в случае мало контурной местности (пустыни, тундры) или когда на дешифрируемый объект имеются достоверные картографические материалы: топографическая карта более мелкого масштаба, материалы специальных съемок, новейшая географическая и справочная литература, материалы топографического дешифрирования аналогичных районов и т.д.

Рассматривая аэроснимки невооруженным глазом, а также используя различные стереофотограмметрические приборы, можно получить почти все данные, необходимые для отображения на карте. Однако некоторые параметры получить довольно сложно. Например, в населенных пунктах установить жилые и нежилые, огнестойкие и не огнестойкие, хозяйственные и служебные постройки. При изображении дорог сложно установить их классификацию, покрытие, порой сложно определить породу леса, характеристики мостов и бродов. Для определения не выявленных характеристик выполняют полевое обследование, поэтому при камеральном дешифрировании ведется ведомость на те объекты, уточнение которых необходимо.

Иногда при камеральном дешифрировании используют эталонные снимки, т.е. такие снимки, на которых все объекты заранее отдешифрированы полевым способом. На этих снимках должны содержаться все характеристики местности, свойственные снимаемому участку.

Комбинированный способ дешифрирования или камерально-полевой в настоящее время является основным. В комбинированном методе дешифрирования аэроснимков большая часть работы по обнаружению и распознаванию объектов выполняется в камеральных условиях, а в поле выявляются те объекты или их характеристики, которые невозможно вскрыть камерально. Вопрос о том, должно ли камеральное дешифрирование предшествовать полевому или наоборот, зависит от конкретных условий. При наличии свежих материалов фотографических съемок или исполнительной документации в крупных масштабах сначала выполняют камеральное дешифрирование, которое подвергают полевому контролю, что способствует сокращению объема и сроков полевого дешифрирования, снижает стоимость работ и повышает производительность труда. Кроме того, результаты камерального дешифрирования в этом случае проходят полевой контроль.

При стереотопографической съемке в малообжитых и необжитых районах, а также в районах, географически недостаточно изученных и слабо обеспеченных картографическими материалами, применяют маршрутное дешифрирование. Маршруты полевого дешифрирования намечаются до выезда в поле на имеющихся топографических картах. Ширина их и густота зависит от характера местности, ее залесенности, заболоченности,

количества топографических объектов. Маршруты прокладывают по такой местности, дешифрирование которой обеспечит камеральное распознавание контуров на остальной территории. Собранные на маршрутах-эталонах данные об особенностях фотографических изображений различных объектов и элементов местности в дальнейшем используют при камеральном дешифрировании в качестве аналогов для определения характеристик объектов по всей площади аэросъемки.

Аэровизуальный метод дешифрирования применяют в сложных условиях труднодоступной местности. В этом случае вначале выполняют камеральное дешифрирование, затем проектируют сеть маршрутов и пункты, требующие детальных наблюдений. Наносят трассы маршрутов и контрольные ориентиры на фотосхемы. Аэровизуальное дешифрирование необходимо выполнять при тех же условиях, что и аэрофотосъемку. При воздушном дешифрировании чаще всего используют вертолет, который перемещается с небольшой скоростью и на малой высоте вдоль по намеченным маршрутам с периодическими остановками в воздухе в наиболее сложных местах и с высадкой на местность изыскательской группы для более детального обследования отдельных мест. При обзоре местности с вертолета контролируют результаты камерального дешифрирования и пополняют их теми данными, которые ранее не были обнаружены или были сомнительны.

Этот метод обеспечивает высокую производительность и достоверность, но требует специальной подготовки исполнителей по быстрому ориентированию и распознаванию объектов за короткий срок.

### Назначение и принцип трансформирования аэроснимков

Трансформированием аэроснимков называется процесс преобразования наклонного снимка в горизонтальный заданного масштаба. В ходе трансформирования устраняют искажения контурных точек, обусловленные наклоном аэроснимка. Смещения, обусловленные рельефом местности, при обычных способах трансформирования не устраняются, можно лишь изменить их величину.

Трансформированное изображение геометрически можно рассматривать как центральную проекцию местности на горизонтальную плоскость  $E$  (рис. 45) из той же точки пространства  $S$ , с которой был получен аэроснимок  $P$ . Проведем на местности горизонтальную плоскость  $U$  и поставим условие, чтобы сечение местности этой плоскостью изобразилось

на экране  $E$  в конкретном масштабе  $\frac{1}{M}$ , т.е.

$$\frac{o'n'}{ON} = \frac{n'k'}{NK} = \frac{sn'}{SN} = \frac{1}{M}. \quad (107)$$

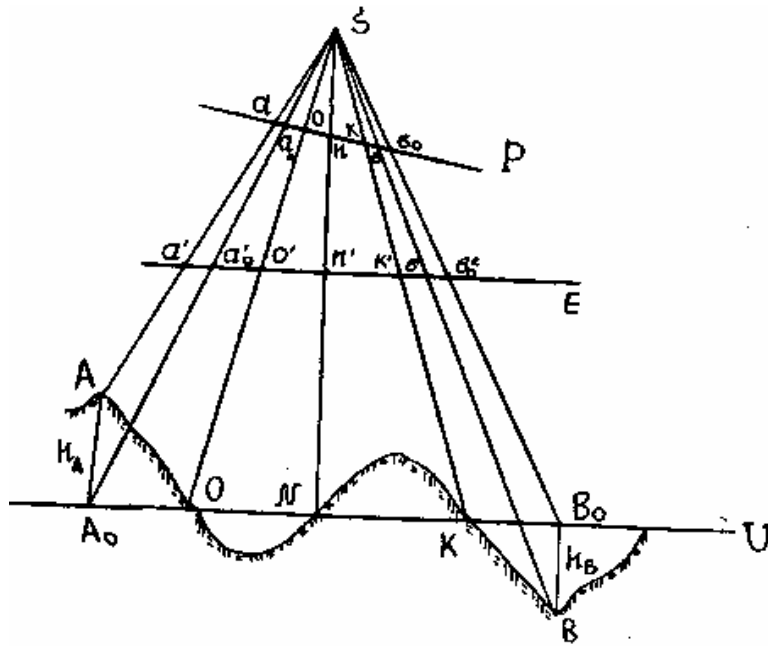


Рис. 45

В выражении (107)  $SN = H$ . Чтобы получить изображение на плоскости  $E$  в масштабе  $\frac{1}{M}$ , необходимо расположить ее от центра проекции  $S$  на расстоянии

$$Sn' = \frac{H}{M}. \quad (108)$$

Изображения точек местности, имеющих превышения над плоскостью  $U$ , будут смещены относительно планового положения по радиус-векторам, проходящим через точку надира  $n$ . Приняв трансформированное изображение за план, смещения точек, вызванные рельефом местности, будем рассматривать как ошибки. Величину смещения можно найти на основании формулы (97)

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

где  $r'$  – расстояние от точки надира до любой точки трансформированного аэроснимка, которая попадет на фотоплан.

Если возможно получить трансформированный аэроснимок с допустимыми ошибками за рельеф, то горизонтальную плоскость  $U$  проводят на средней высоте сфотографированного участка местности. В этом случае  $h_A = |h_B|$ . Определим предельные превышения, при которых ошибки за рельеф не превысят допустимой величины

$$h_{\max} = \frac{H}{r'} \delta h'_{\max}. \quad (109)$$

Так как расстояние  $r'$  мы измерить не можем, то выразим его через аналогичное расстояние  $r$  на снимке.

Для плановых аэроснимков можно принять

$$\frac{r}{R} = \frac{f}{H}. \quad (110)$$

где  $R$  – расстояние на местности, соответствующее расстоянию  $r$  снимка.

Для трансформированного изображения можно записать следующее соотношение:

$$\frac{r'}{R} = \frac{1}{M}. \quad (111)$$

Решим формулы (110) и (111) относительно  $R$ :

$$R = \frac{H}{f} r; \quad R = r' M. \quad (112)$$

Приравняем полученные выражения и решим их относительно  $r'$ :

$$r' = \frac{H}{f \cdot M} r. \quad (113)$$

Подставим полученное значение в формулу (109):

$$h_{\max} = \frac{f \cdot M}{r} \delta h'_{\max}. \quad (114)$$

На основании выражения (114) можно заключить, что при заданном  $\delta h'_{\max}$  величину превышения  $h_{\max}$  можно увеличить, если использовать длиннофокусные аэрофотоаппараты.

### Трансформирование аэроснимков по зонам

Если превышения точек местности больше допустимых, то аэро-снимок трансформируется по зонам, причем для каждой зоны выбирается своя средняя плоскость.

В этом случае трансформирование выполняется на несколько плоскостей:  $E_1, E_2, E_3$  (рис. 46), допуская в каждой зоне смещения точек за рельеф местности  $\delta h$  не более 0,4 мм. Рассчитаем  $h_{\text{дон}}$ , при котором смещения на трансформированном снимке не превысят 0,4 мм.

Смещения точек  $\delta h$  могут иметь как знак плюс, так и знак минус, поэтому высота зоны  $h_3$  будет  $h_3 = 2h_{\text{дон}}$ , а число зон

$$n = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2h_{\text{дон}}}, \quad (115)$$

где  $A_{\max}, A_{\min}$  – соответственно максимальная и минимальная отметки точек сфотографированной местности.

Затем производят многократное трансформирование при положениях экрана  $E_1, E_2, E_3$  и получают столько фотоснимков, сколько зон было рассчитано. В соответствии с данными карты или снимка с горизонталями на транс-

формированном снимке, полученном при положении экрана  $E_1$ , вырезают контура, принадлежащие первой зоне  $U_1$ ; на трансформированном снимке, полученном при положении экрана  $E_2$  вырезают контура, принадлежащие второй зоне  $U_2$  и т.д. После монтажа вырезанных частей снимка получают так называемый мозаичный трансформированный снимок, у которого смещения точек, обусловленные рельефом местности, не будут превышать  $\delta h_{дон}$ .

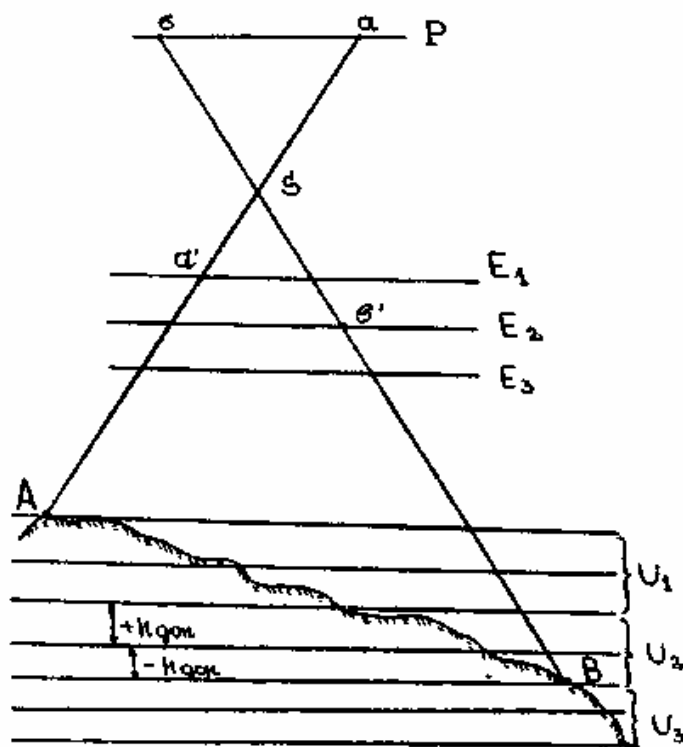


Рис. 46

### Способы трансформирования снимков

Для трансформирования аэроснимков в настоящее время применяют следующие способы: графический, фотомеханический, оптико-графический, дифференциальный.

Графический способ трансформирования не требует применения специальных приборов. Трансформирование обычно осуществляется путем построения на аэроснимке и на планшете соответственных сеток, которыми пользуются для перенесения контуров с аэроснимка на планшет.

При фотомеханическом способе трансформирования трансформированное изображение отпечатывается на фотобумаге, при оптико-графическом способе оно вычерчивается карандашом на планшете в условных знаках. Фотомеханический способ основан на использовании фототрансформаторов, при оптико-графическом способе, кроме трансформатора, применяют оптические приборы.

Дифференциальный способ основан на использовании ортофототрансформаторов. Применяют его при значительном рельефе, путем



проектирования небольших участков снимка через щель. При этом способе трансформирования необходимо построить модель местности, так как он базируется на теории стереоскопической пары аэроснимков.

### Геометрические условия трансформирования

Под геометрическими условиями понимают условия, которые необходимо выполнить для получения геометрически правильного трансформированного изображения в заданном масштабе.

Для определения геометрических условий воспользуемся формулами связи координат соответственных точек аэроснимка и плоской горизонтальной местности, когда за начало координат принята главная точка схода.

Координаты соответствующих точек на трансформированном изображении будут

$$x^0 = \frac{X}{M}; \quad y^0 = \frac{Y}{M}, \quad (116)$$

где  $M$  – знаменатель масштаба создаваемого плана.

Подставим равенства (42) и (43) в формулы (116):

$$x^0 = -\frac{Hx}{M \sin \alpha}; \quad y^0 = -\frac{Hf}{M \sin^2 \alpha}. \quad (117)$$

Получили формулы связи координат точек аэроснимка и трансформированного изображения (рис. 47).

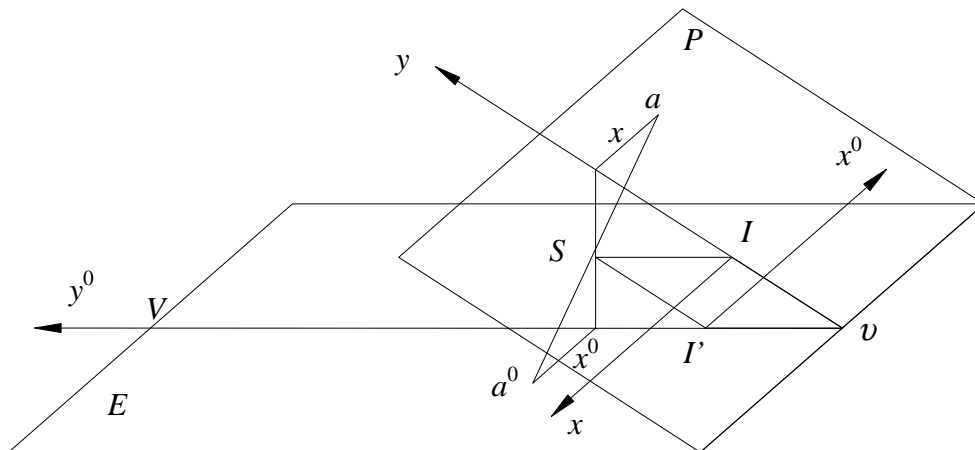


Рис. 47

Из выражений (117) можно заключить, что зависимость между координатами точки  $a$  аэроснимка и координатами точки  $a^0$  на трансформированном изображении устанавливается через величины  $\frac{f}{\sin \alpha}$  и  $\frac{H}{M \sin \alpha}$ , а эти величины равны отрезкам  $JS$  и  $SI'$ , которые являются сторонами параллелограмма (рис. 47). Т.е. если мы хотим правильно выполнить трансфор-

мирование, то центр проекции  $S$  фототрансформатора необходимо расположить относительно снимка таким образом, чтобы

$$SI = \frac{f}{\sin \alpha}; \quad SI' = \frac{H}{M \sin \alpha}.$$

Часто при трансформировании наклоняют не снимок  $P$ , а экран  $E$  или наклоняют и снимок  $P$ , и экран  $E$ . Следует заметить, что зависимость между координатами не нарушится, если изменить угол между плоскостями  $P$  и  $E$ , сохраняя стороны параллелограмма (рис. 48).

В первом случае плоскость  $P$  составляет с плоскостью  $E_1$  угол  $\alpha^0$ , который обязательно равен углу наклона аэроснимка. Если из центра проекции  $S_1$  опустить перпендикуляр на плоскость  $P$ , то мы должны попасть в главную точку снимка  $o$ , а длина этого перпендикуляра должна быть равна фокусному расстоянию аэрофотоаппарата, которым был получен снимок. Это значит, что при трансформировании сохранены элементы внутреннего ориентирования.

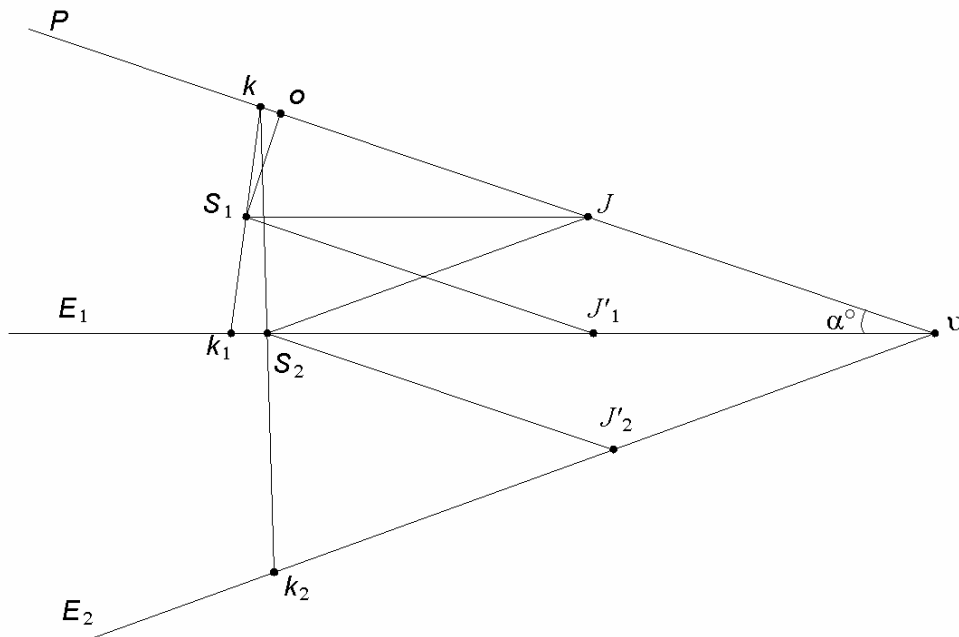


Рис. 48

Фототрансформаторы, в которых трансформирование аэроснимков производится с сохранением значений элементов внутреннего ориентирования, называют фототрансформаторами I-го рода. В этом случае возникает необходимость подбора фокусного расстояния объектива фототрансформатора. Это обстоятельство очень затрудняет работу на приборе, поэтому фототрансформаторы I-го рода не получили распространение.

При трансформировании на плоскость  $E_2$  положение центра проектирования  $S_2$  относительно плоскости аэроснимка  $P$  не соответствует элементам внутреннего ориентирования аэроснимка. Приборы, построенные на этом принципе, получили название фототрансформаторов II-го рода. На

производстве используют только трансформаторы II-го рода, так как на таком приборе можно трансформировать снимки, полученные аэрофотоаппаратами с любыми фокусными расстояниями.

Для соблюдения правильного трансформирования должны быть выполнены следующие геометрические условия:

1. Центр проектирования  $S$  должен находиться в плоскости главного вертикала аэроснимка на прямой, проходящей через главную точку схода  $I$  аэроснимка, параллельной плоскости трансформирования.

2. Расстояние между центром проектирования  $S$  и главной точкой схода  $I$  должно быть равно  $\frac{f}{\sin \alpha}$ .

3. Расстояние от главной точки схода  $I$  до линии пересечения плоскости экрана с плоскостью негатива должно быть равно  $\frac{H}{M \sin \alpha}$ .

4. Расстояние от главной точки схода  $I$  до главной точки снимка  $o$  должно быть равно  $Io = f \operatorname{ctg} \alpha$ , что достигается путем децентрации аэроснимка.

Выполнение геометрических условий должно быть предусмотрено конструкцией фототрансформатора.

### Оптические условия трансформирования

Под оптическими условиями понимают условия, которые необходимо выполнить для получения резкого изображения на экране. Для этого достаточно выполнить два оптических условия (рис. 49).

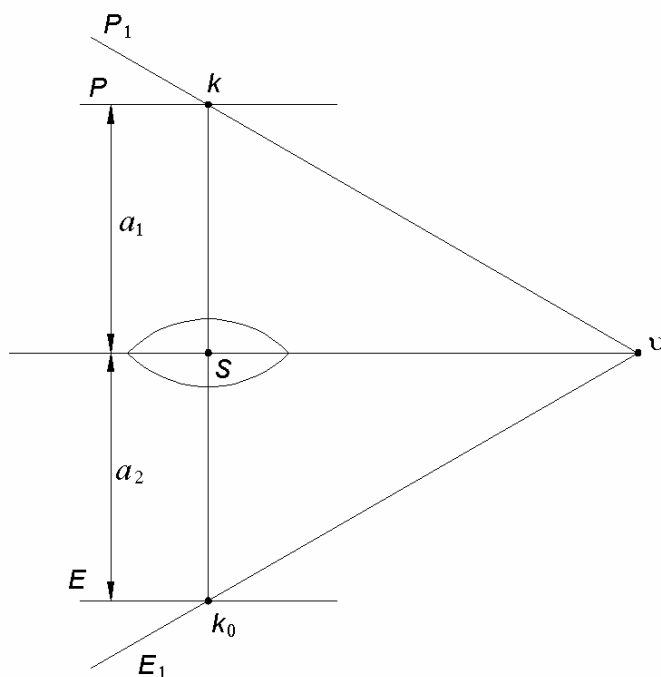


Рис. 49

1. Плоскость негатива и экрана должны пересекаться в главной плоскости объектива.

2. Для точек, лежащих на оптической оси ( $k$  и  $k_0$ ), должно выполняться равенство  $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{F}$ ; где  $F$  – фокусное расстояние объектива фототрансформатора.

Для автоматического выполнения оптических условий на фототрансформаторе имеются вспомогательные механизмы, которые называют инверсорами. Резкость изображения при изменении масштаба обеспечивается масштабными инверсорами, а при наклоне экрана – перспективными. На некоторых фототрансформаторах имеются инверсоры, осуществляющие децентрацию аэроснимка.

### Согласование геометрических и оптических условий трансформирования

На рис. 50 взаимное расположение плоскости негатива  $P$ , экрана  $E$ , главной точки схода снимка  $I$  и центра проекции  $S$  отвечает геометрическим условиям трансформирования, т.е.

$$SI = \frac{f}{\sin \alpha^0}; \quad SI' = \frac{H}{M \sin \alpha^0}; \quad SI \parallel \text{пл.} E.$$

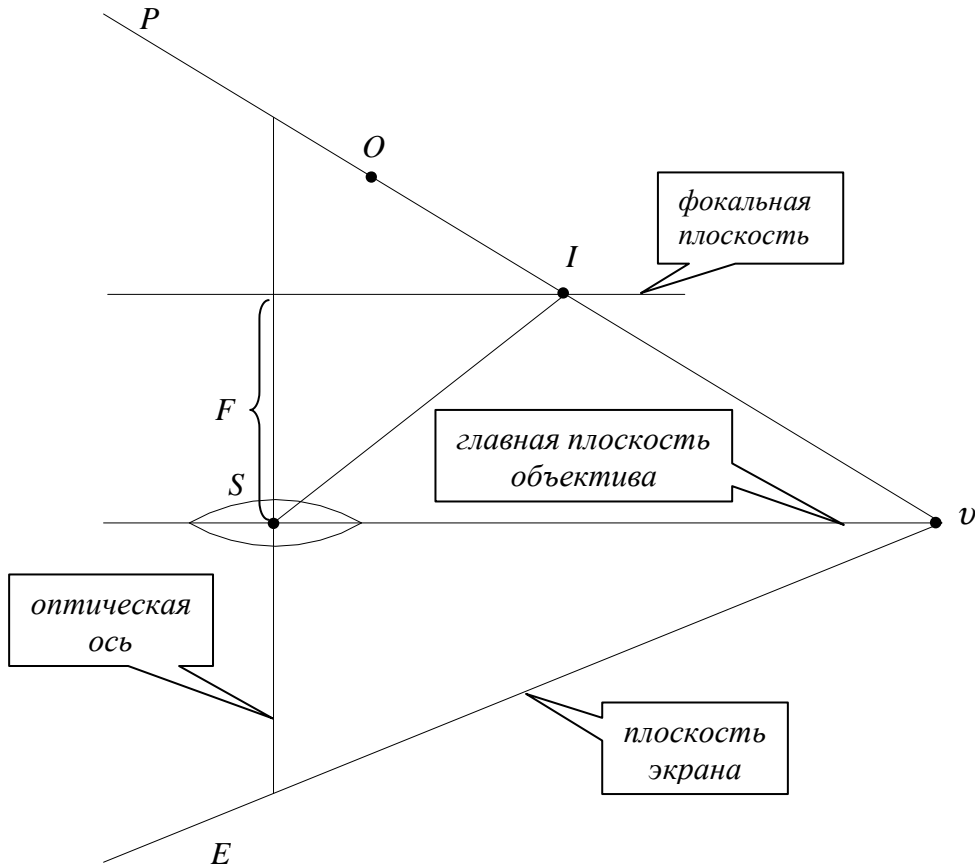


Рис. 50

Для выполнения оптических условий трансформирования объектив следует повернуть вокруг точки  $S$  так, чтобы его главная плоскость прошла через линию пересечения плоскости негатива  $P$  с экраном  $E$  и главная точка схода снимка  $I$  находилась в фокальной плоскости объектива фототрансформатора, так как на линии действительного горизонта изображаются точки, находящиеся в бесконечности, а с бесконечно удаленными точками оптически сопряжены точки фокальной плоскости.

Если геометрические условия дополнить оптическими, то оптические условия выполнимы только при таком положении центра проекции  $S$  и экрана  $E$ , когда фокальная плоскость объектива проходит через линию действительного горизонта, а главная плоскость объектива – через линию пересечения плоскостей негатива и экрана.

Из совместного рассмотрения геометрических и оптических условий можно сделать следующие выводы:

1. Узловая точка объектива  $S$  должна находиться в плоскости главного вертикала на расстоянии  $\frac{f}{\sin \alpha^0}$  от главной точки схода  $I$ .

2. Точка схода  $I$  должна лежать в фокальной плоскости объектива фототрансформатора.

3. Главная плоскость объектива должна проходить через линию пересечения плоскостей негатива и экрана, расположенную на расстоянии

$$I\upsilon = \frac{H}{M \sin \alpha^0}$$

от линии действительного горизонта.

4. Плоскость экрана должна быть параллельна лучу  $SI$ .

5. Расстояние между главной точкой схода  $I$  и главной точкой снимка  $o$  должно быть равно  $So = f \cdot \operatorname{ctg} \alpha^0$ .

При конструировании фототрансформаторов необходимо выполнить перечисленные требования.

Трансформирование снимков выполняется на фототрансформаторах. Подробно устройство и методика трансформирования снимков на универсальном топографическом проекторе УТП-2 рассмотрены в разделе «Методические указания к выполнению лабораторных работ студентами дневного отделения»

### **Методика трансформирования снимков**

Трансформирование снимков может производиться по установочным величинам либо по опорным трансформационным точкам, имеющим геодезические координаты, опознанным и наколотым на аэроснимке. Положение трансформационных точек может быть получено либо в поле гео-

дезическими методами, либо в результате построения сетей фото-триангуляции.

Трансформирование по установочным данным можно выполнить в том случае, если известны элементы внешнего ориентирования снимков. Например, если известен угол наклона снимка  $\alpha^0$ , то можно вычислить углы наклона снимка  $\varphi_P$  и экрана  $\varphi_E$  в фототрансформаторе. На основании рис. 51

$$\sin \varphi_E = \frac{F}{SI} = \frac{F}{f} \sin \alpha^0,$$

$$\sin \varphi_P = \frac{F}{I\nu} = \frac{FM}{H} \sin \alpha^0 = \frac{F}{f \cdot k_t} \sin \alpha^0,$$

где  $k_t$  – коэффициент трансформирования.

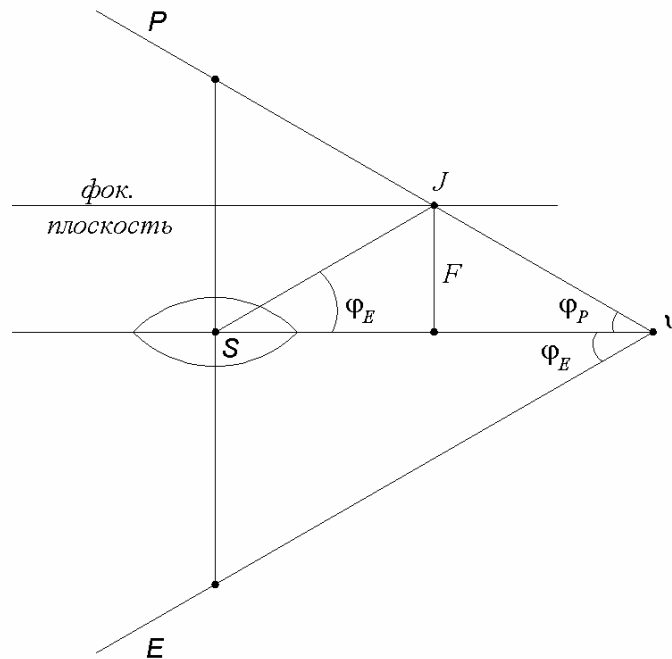


Рис. 51

Полученные величины устанавливают на соответствующих шкалах прибора.

Получить элементы внешнего ориентирования снимков не всегда возможно, поэтому чаще выполняют трансформирование по опорным точкам, в положение которых введены поправки за рельеф  $\delta h'$  (рис. 52), чтобы перейти от ортогональных проекций этих точек  $A_0$  и  $B_0$  к их положению в центральной проекции  $A'$  и  $B'$  для перспективного соответствия точек.

Поправки за рельеф вычисляют по формуле  $\delta h' = \frac{rh}{H}$ . Если поправка имеет знак минус, то ее откладывают от имеющейся на основе точки ближе к

точке надира по направлению, проходящему через точку надира и определяемую точку, если поправка имеет знак плюс, то ее откладывают в противоположную сторону.

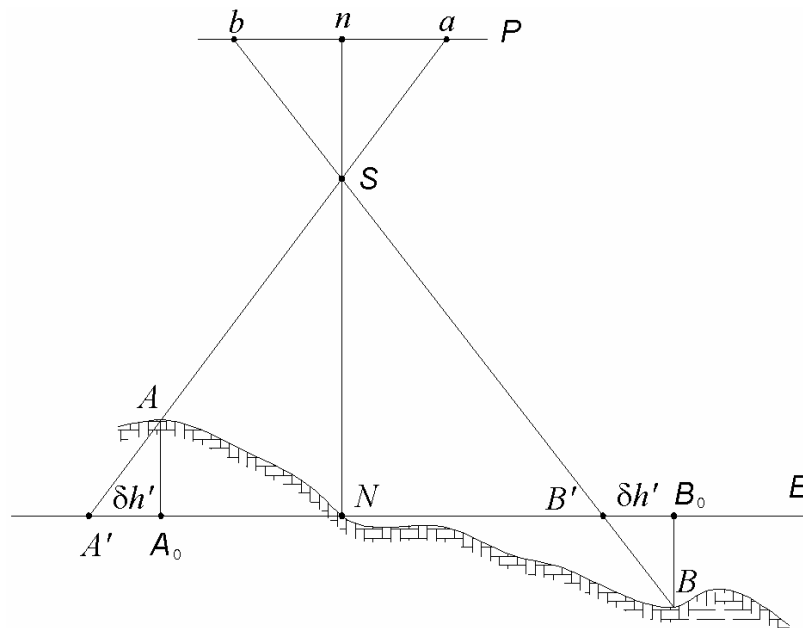


Рис. 52

При трансформировании аэроснимка по зонам поправки за рельеф вычисляют сначала относительно средней плоскости первой зоны. Затем такие же вычисления выполняют относительно средних плоскостей других зон. Полученные поправки вводят в положение опорных точек на основе (рис. 53).

Негатив с наколотыми точками закладывают в кассету фототрансформатора; на экран, который предварительно приводят примерно в горизонтальное положение, кладут основу. При трансформировании первой зоны на фототрансформаторе совмещают точки, наколотые на негативе с точками основы  $a_1, b_1, c_1, d_1$ , при трансформировании второй зоны совмещают те же точки негатива с точками  $a_2, b_2, c_2, d_2$  основы и т.д. После совмещения точек изображение, спроектированное на экран, отпечатывают на фотобумаге. При большом числе зон снижается производительность труда, ухудшается качество, поэтому этот способ трансформирования применяют в том случае, когда число зон не более трех-четырех.

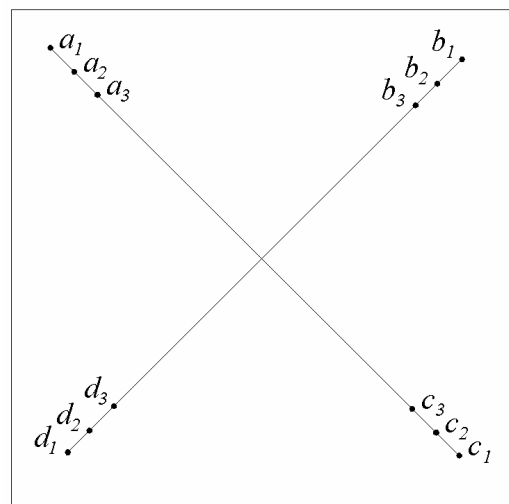


Рис. 53

Методика совмещения точек зависит от конструкции фототрансформатора. Если экран фототрансформатора наклоняется вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, как на УТП-2, то более оптимальна следующая очередность совмещения точек.

1. Изменяя масштаб изображения и перемещая основу по экрану, добиваются совмещения изображений точек негатива  $a'$  и  $b'$  с соответственными точками основы  $a$  и  $b$  (рис. 54, а). При последующих действиях необходимо следить, чтобы эти точки всегда были совмещены.

2. Поворачивая экран вокруг оси  $X$ , добиваются, чтобы длина изображения отрезка  $c'd'$  была примерно равна аналогичному отрезку основы  $cd$  (рис. 54, б).

3. Поворачивая экран вокруг оси  $Y$ , добиваются, чтобы отрезок  $c'd'$  был примерно параллелен аналогичному отрезку основы  $cd$  (рис. 54, в).

4. Вводя децентрации снимка, добиваются совмещения всех четырех точек.

Совмещение четырех точек не гарантирует правильности трансформирования, если децентрации вводятся оператором. Чрезмерное использование децентрации и наклонов экрана часто позволяет совместить точки при наличии ошибок в их положении на основе или негативе. Правильность трансформирования проверяется по пятой центральной точке.

Если на фототрансформаторе имеется инверсор для введения децентрации, то процесс совмещения точек упрощается. В этом случае при трансформировании достаточно выполнить только три первых пункта.

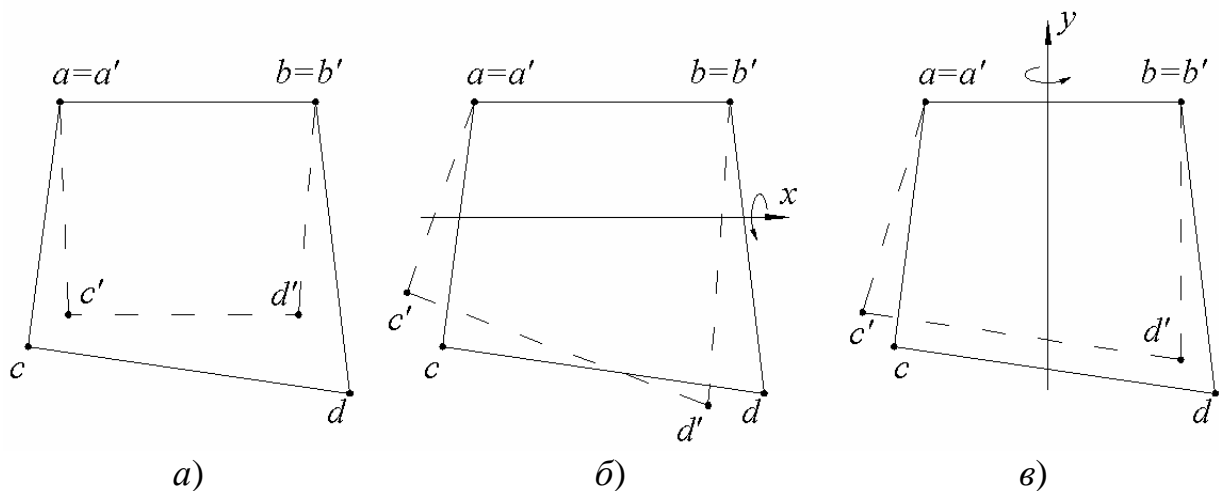


Рис. 54

При фотомеханическом способе трансформирования для исключения деформации фотобумаги, которая после проявления, закрепления и сушки уменьшится в своих размерах, перед совмещением точек под основу



подкладывают подложку, толщину которой заранее рассчитывают. После совмещения точек основу с подложкой убирают, что приводит к увеличению изображения на экране, куда кладут фотобумагу.

### **Монтирование фотопланов**

Фотопланом называют фотографическое изображение местности, геометрически удовлетворяющее требованиям плана. В зависимости от масштаба фотоплана и рельефа местности применяют разные способы монтажа. Фотопланы мелких и средних масштабов монтируют из трансформированных снимков. Если трансформирование выполнялось в одну зону, то на всех опорных точках пробивают пуансоном отверстия диаметром 1 мм. Снимки накладывают на основу таким образом, чтобы центры отверстий совпали с одноименными точками основы. Расхождение не должно превышать 0,5 мм. Смонтированные аэроснимки разрезают волнистой линией, чтобы порезы проходили вблизи трансформационных точек. Центральные части снимков приклеивают к основе и приступают к оценке точности. Отрезанные части снимков прикладывают к порезам и вблизи линии пореза накалывают контурные точки (как при оценке точности фотосхемы). Несовмещения наколов с соответствующими контурами фотоплана не должны превышать 0,7 мм. Наколы делают примерно через 2 см. Для контроля фотоплана со смежными трапециями пользуются зарамочными обрезками трансформированных снимков. Допустимые расхождения в этом случае не должны превышать 1,0 мм. Полученные расхождения записывают в формуляр фотоплана. Смонтированный из снимков фотоплан носит название мозаичный. Для работы используют репродукции с мозаичных фотопланов.

Если снимок трансформирован по зонам, то отпечатки, полученные для разных зон, ориентируют на основе по одним и тем же точкам. Предварительно в положение трансформационных точек на трансформированных снимках вводят поправки за рельеф, вычисленные по формуле (97) по направлению, противоположному тому, как это было сделано на основе при трансформировании. Исправленное положение опорных точек пробивают пуансонами. На снимки наносят горизонталы, соответствующие границам зон, укладывают два снимка первой и второй зоны на основу, совмещают отверстия с наколами и разрезают оба снимка по границе между первой и второй зонами. Части с изображениями первой и второй зон приклеивают к основе и т.д. Оценку точности выполняют по вышеописанной методике, добавив оценку точности по порезам между зонами.

При крупномасштабном картографировании фотопланы создают методами оптического монтажа, используя принцип «аэронегатив-планшет». Аэрофотосъемка в этом случае производится по направленным маршрутам с продольным перекрытием 80 %. Масштаб фотографирования выбирают таким, чтобы на одном аэронегативе изобразилась территория, занимаемая трапецией. Вблизи углов рамок трапеции выбирают трансформационные точки. Положение этих точек получают в результате построения сетей фототриангуляции аналитическим способом или в поле – геодезическими методами.

Перед трансформированием на основу с наклеенной фотобумагой одевается рубашка, склеенная из двух листов бумаги: белой и черной. Рубашка одевается белой стороной вверх. На рубашку наносят километровую сетку, углы рамок трапеции и опорные точки, в положение которых вводят поправки за рельеф. Используя топографические карты более мелкого масштаба, на рубашку переносят горизонталы, соответствующие границам зон и по ним выполняют порезы. В кассету фототрансформатора закладывают негатив, на экран помещают основу и совмещают точки с учетом поправок за рельеф, введенных относительно средней плоскости первой зоны. Снимают маску первой зоны, производят экспонирование. Затем заклеивают первую зону и повторяют все операции для других зон. Закончив работу в фотолаборатории, снимают рубашку, убирают резиновый клей, проявляют и закрепляют изображение. При создании фотоплана методом оптического монтажа допускают до шести зон трансформирования.

## ЧАСТЬ 2

### 6. ТЕОРИЯ ПАРЫ СНИМКОВ

#### Монокулярное зрение

Монокулярным зрением является наблюдение одним глазом. Глаз является оптической системой, которая при помощи хрусталика формирует на поверхности сетчатки действительное обратное изображение наблюдаемого объекта. Так как наблюдаемые объекты находятся на различных расстояниях от глаза, то для получения резкого изображения на сетчатке хрусталик изменяет свою кривизну. Это свойство глаза называется аккомодацией.

#### Бинокулярное и стереоскопическое зрение

Наблюдение двумя глазами называется бинокулярным. Случай бинокулярного зрения, при котором отчетливо воспринимается глубина пространства, называется стереоскопическим зрением.

При стереоскопическом наблюдении зрительные оси обоих глаз пересекаются между собой в наблюдаемой точке (рис. 1).

Угол пересечения зрительных осей  $\gamma$ , под которым виден из наблюдаемой точки глазной базис наблюдателя  $b = S_1S_2$ , называется углом конвергенции или параллактическим углом ( $S_1$  и  $S_2$  – центры хрусталиков левого и правого глаза).

Изменение расстояния от наблюдателя до объекта вызывает изменение угла конвергенции и аккомодацию глаз. Между углом конвергенции  $\gamma$  и расстоянием  $D = AA_0$  (см. рис. 1) существует следующая зависимость:

$$\gamma = \frac{b}{D}.$$

Определенному параллактическому углу  $\gamma_a$  (рис. 2) при постоянной величине базиса  $b = S_1S_2$  соответствует определенное отстояние  $D_a$  от наблюдателя до визируемой точки. По разности параллактических углов  $\gamma_a$  и  $\gamma_c$  ощущают относительное расстояние между предметами  $A$  и  $C$ .

При неравенстве расстояний  $D_a$  и  $D_c$  их изображения получают на различных расстояниях  $c_1a_1$  и  $c_2a_2$  на сетчатках левого и правого глаза наблюдателя. Разность длин дуг, лежащих в плоскости зрительного базиса, называется физиологическим параллаксом ( $c_1a_1 - c_2a_2 = \Gamma_a$ ). Физиологический параллакс вызывает объемное зрительное восприятие предмета.

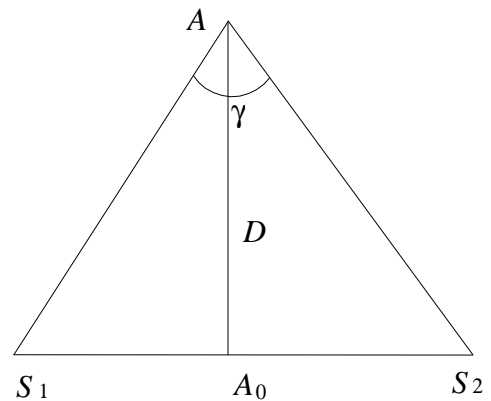


Рис. 1

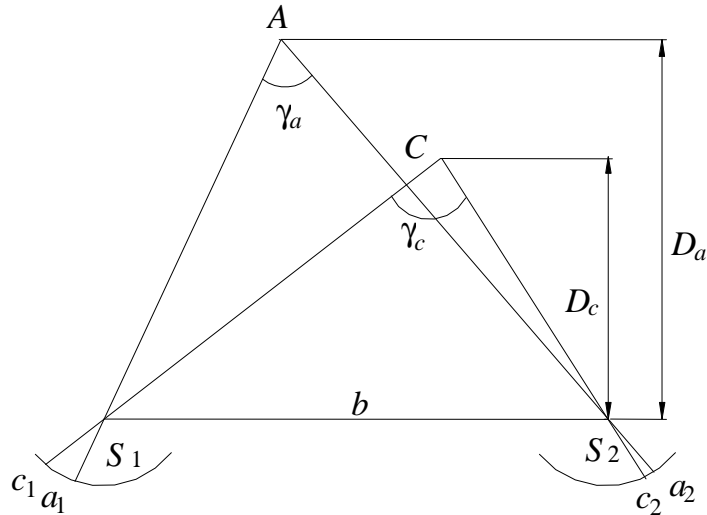


Рис. 2

### Стереоскопическое наблюдение снимков

Восприятие глубины возможно не только при наблюдении предметов, но и при рассматривании их перспективных изображений.

Имеем точки рассматриваемого наблюдателем предмета  $A$ ,  $F$ ,  $B$  (рис. 3);  $S_1$  и  $S_2$  – узловые точки глаза;  $a_1, b_1, f_1$  и  $a_2, b_2, f_2$  – изображение точек  $A$ ,  $B$ ,  $F$  на сетчатках левого и правого глаза;  $F$  – точка пересечения зрительных осей.

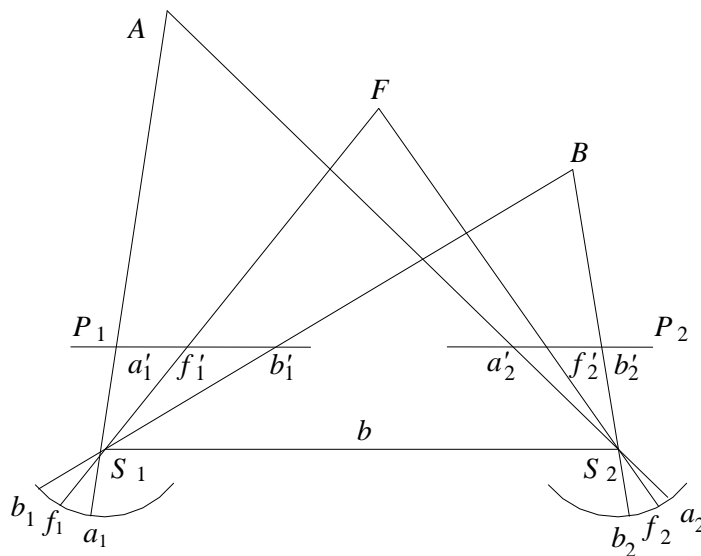


Рис. 3

Пересечем пучки лучей  $S_1, A, F, B$  и  $S_2, A, F, B$  плоскостями  $P_1$  и  $P_2$ . Точки  $a'_1, b'_1, f'_1$  и  $a'_2, b'_2, f'_2$  – перспективные изображения с центрами проекций в точках  $S_1$  и  $S_2$ . Если вместо предмета  $A, F, B$  поставить перед глазами снимки  $P_1$  и  $P_2$ , то возникнет искусственный стереоэффект.

Однако для получения стереоскопического эффекта необходимо выполнить ряд условий, а именно:

1. Снимки предмета должны быть получены с двух разных точек пространства.

2. Разность масштабов снимков не должна превышать 16 % от их значений.

3. Каждым глазом должен наблюдаться отдельный снимок.

4. Снимки должны быть расположены относительно глаз так, чтобы соответственные зрительные лучи, например,  $S_1a'_1$  и  $S_2a'_2$ , пересекались.

5. Угол, под которым пересекаются соответственные лучи, не должен превышать  $16^\circ$ .

6. При данном значении параллактического угла должна обеспечиваться соответствующая аккомодация.

Расположив левый снимок перед левым глазом наблюдателя, а правый – перед правым таким образом, чтобы части (заштрихованные на рис. 4) были внутри, и рассматривая каждый снимок одним глазом, сфотографированный на них участок местности будет восприниматься наблюдателем стереоскопически, т.е. наблюдатель будет видеть пространственное расположение данного участка местности.

В этом случае стереоскопический эффект получается прямым (горы изображаются горами, а низины – низинами).

Если же снимки поменять местами (рис. 5), т.е. правый аэроснимок рассматривать левым глазом, а левый – правым, то увидим обратный стереоэффект. В этом случае горы изобразятся низинами, а низины – горами.

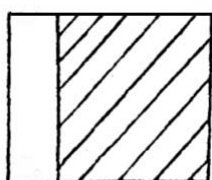


Рис. 4

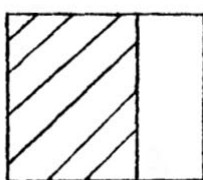
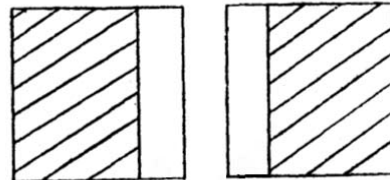


Рис. 5



Проиллюстрируем природу прямого и обратного стереоэффекта на рис. 6 и рис. 7, показав ход лучей.

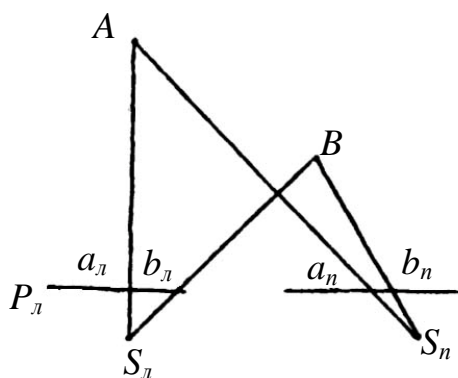


Рис. 6

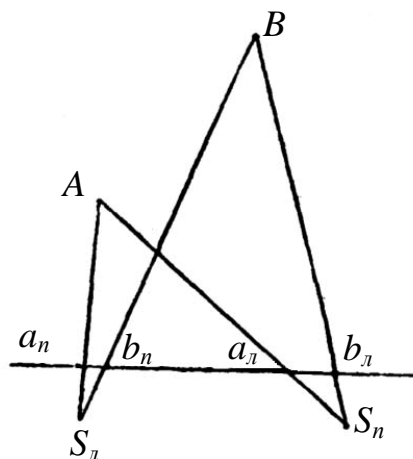


Рис. 7

## Модель местности

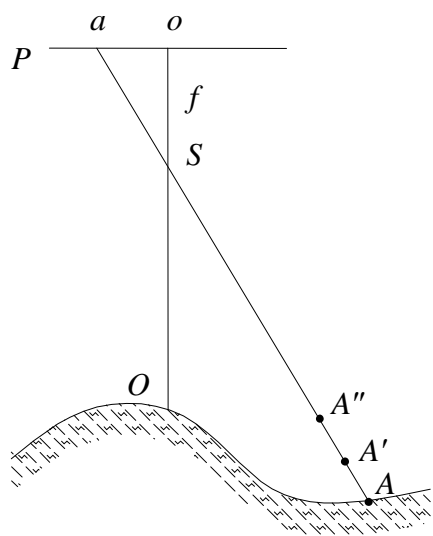


Рис. 8

При фотограмметрической обработке одного аэроснимка, элементы внутреннего и внешнего ориентирования которого известны, построение плана местности в горизонталях невозможно, так как если каждой точке сфотографированной местности  $A$  (рис. 8) соответствует определенная точка аэроснимка  $a$ , то каждой точке аэроснимка может соответствовать любая точка, расположенная на проектирующем луче ( $A, A', A''$  и т.д.).

Чтобы найти положение сфотографированной точки на проектирующем луче, его необходимо пересечь другим лучом, направленным от другого центра проектирования (рис. 9).

Совокупность всех точек пересечения одноименных проектирующих лучей образует поверхность, подобную местности, которая называется моделью местности.

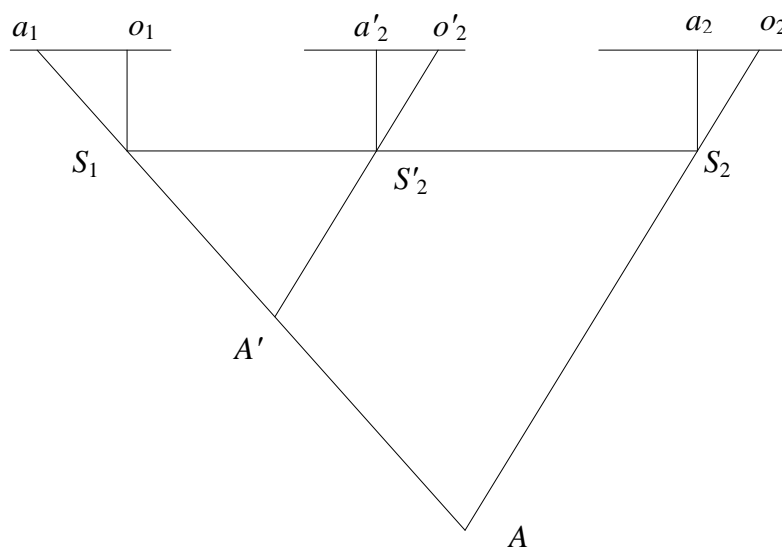


Рис. 9

При фотограмметрических построениях длина базиса проектирования  $b_{np} = S_1S'_2$  (см. рис. 9) выбирается значительно меньшей, чем при производстве аэросъемки  $b = S_1S_2$ . Проектирующие лучи, сохранив свои прежние направления, будут между собой пересекаться.

Из подобия треугольников  $\Delta S_1S'_2A' \sim \Delta S_1S_2A$  можно записать

$$\frac{S_1S'_2}{S_1S_2} = \frac{S_1A'}{S_1A} = \frac{S_2A'}{S_2A} = \frac{1}{m} = \frac{b_{np}}{B}.$$

Значение масштаба модели является постоянной величиной для любых расстояний, измеренных на поверхности модели, и равняется отношению базиса проектирования ( $S_1S'_2$ ) к базису фотографирования ( $S_1S_2$ ).

### Зависимость между продольными параллаксами и превышениями точек при идеальном случае съемки

Разность абсцисс соответственных точек левого и правого снимков стереопары (рис. 10) называется продольным параллаксом  $P$

$$P = x_l - x_n,$$

а разность ординат этих же точек – поперечным параллаксом  $q$

$$q = y_l - y_n.$$

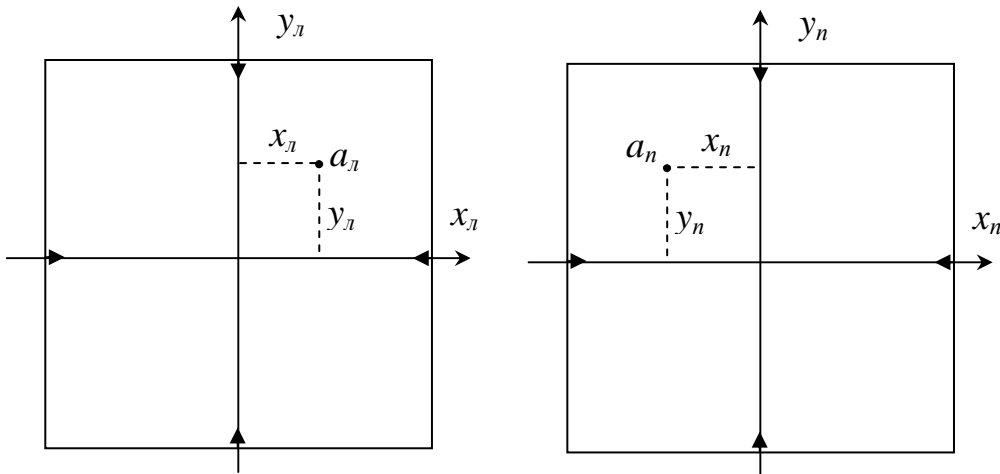


Рис. 10

Участок местности  $T$  дважды сфотографирован из точек  $S_l$  и  $S_n$  с высоты полета  $H$ . При строго отвесных положениях оптических осей аэрофотоаппарата (рис. 11)  $S_1S_2 = B$  – базис фотографирования.

Возьмем на плоскости  $T$  точку  $A$ . Ее изображения на аэроснимках будут в точках  $a_l$  и  $a_n$ .

Продольный параллакс  $P$  точки  $A$  равен  $P_a = x_l - x_n$ , или в соответствии с чертежом  $P_a = o_l a_l + o_n a_n$ .

Для определения математического значения продольного параллакса  $P_a$  перенесем отрезок  $o_n a_n$  на левый аэроснимок, для чего из центра проекции  $S_l$  проведем прямую  $S_l a'_l \parallel S_n a_n$ , следовательно  $a_l a'_l = P_a$ .

Из подобных треугольников  $\Delta a_l S_l a'_l \sim \Delta S_l S_n A$  получим  $\frac{P_a}{B} = \frac{f}{H_a}$ ,

отсюда 
$$P_a = \frac{Bf}{H_a}.$$

Из этого выражения следует, что продольный параллакс какой-либо точки равен базису фотографирования в масштабе этой точки, т.е.  $P_a = ba$ , и точки местности, расположенные в одной горизонтальной плоскости, имеют равные продольные параллаксы.

Возьмем точку  $C$ , также лежащую на оси  $X$ , но имеющую превышение  $h$  над плоскостью  $T$ . Точка  $C$  изобразится на аэроснимках в точках  $c_l$  и  $c_n$ .

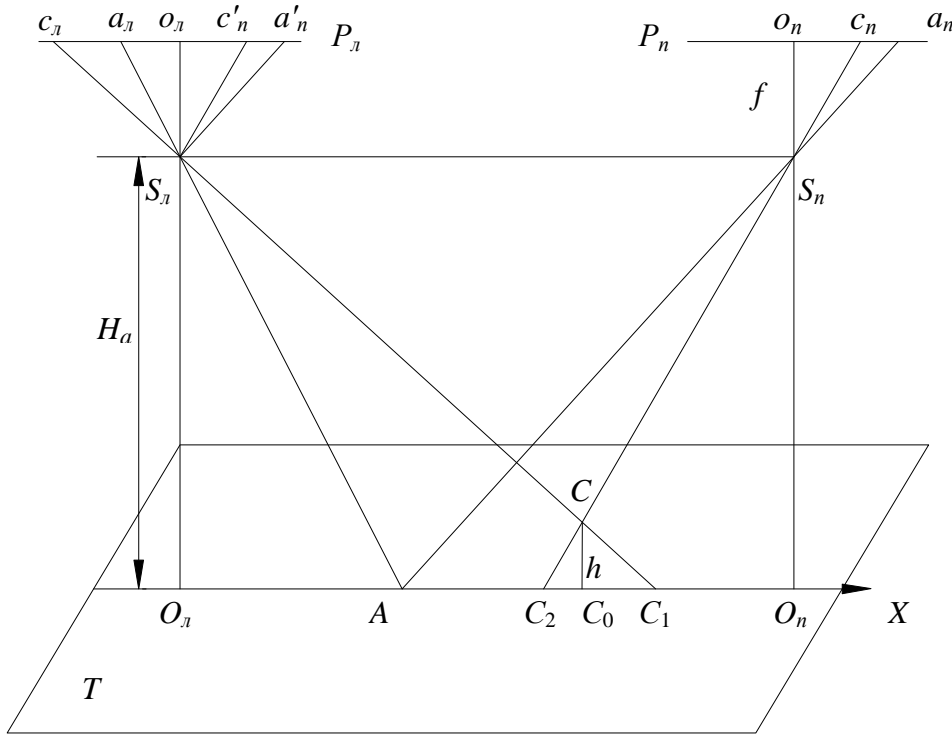


Рис. 11

Перенесем абсциссу  $x_n = o_n c_n$  на левый аэроснимок аналогично предыдущему, получим  $c_l c'_n = P_c$ . Из подобия треугольников  $\Delta c_l S_l c'_n \sim \Delta S_l S_n C$

$$P_c = \frac{Bf}{H_a - h}.$$

Найдем разность продольных параллаксов  $\Delta P$  точек  $C$  и  $A$ :

$$P_c - P_a = \Delta P = \frac{Bf}{H_a - h} - \frac{Bf}{H_a} = \frac{BfH_a - BfH_a + Bfh}{H_a(H_a - h)};$$

$$\Delta P = \frac{Bfh}{H_a(H_a - h)}.$$

В этом выражении  $B \frac{f}{H_a} = ba$ , следовательно

$$\Delta P = \frac{b_a h}{(H_a - h)}. \quad (1)$$



Зная разность продольных параллаксов  $\Delta P$ , можно вычислить превышение  $h$  по формуле

$$h = \frac{H_a \Delta P}{(b_a + \Delta P)}.$$

Выясним геометрическое значение разности продольных параллаксов  $\Delta P$ . Для этого продолжим проектирующие лучи  $S_l C$  и  $S_n C$  до пересечения их с плоскостью  $T$ . Получим точки  $C_1$  и  $C_2$  (см. рис. 11).

Из подобия треугольников  $\Delta CS_l S_n \sim \Delta CC_1 C_2$  можно записать

$$\frac{C_1 C_2}{B} = \frac{h}{H_a - h},$$

откуда

$$C_1 C_2 = \frac{Bh}{H_a - h} = \frac{bmh}{H_a - h}.$$

В приведенной формуле  $\frac{bh}{H_a - h} = \Delta P$ , следовательно  $C_1 C_2 = \Delta P m$ ,

т.е.  $C_1 C_2$  соответствует разности продольных параллаксов на местности ( $m$  – знаменатель масштаба снимков).

В соответствии с чертежом  $C_1 C_2 = C_2 C_0 + C_0 C_1$ ,

где  $C_2 C_0$  и  $C_0 C_1$  – смещение точек за рельеф местности для правого и левого аэроснимков.

Следовательно, разность продольных параллаксов  $\Delta P$  – это сумма искажений абсцисс точки, вызванных рельефом местности.

### **Зависимости между координатами точки объекта и координатами ее изображения на одиночном снимке**

В геодезической системе координат из точки фотографирования  $S$  с координатами  $X_s, Y_s, Z_s$  получен снимок  $P$  (рис. 12). Положение точки  $S$  в системе координат  $OXYZ$  определяет также вектор  $\bar{R}_s$ . На снимке  $P$  получим изображение  $m$  точки местности  $M$ , имеющей координаты  $X, Y, Z$ , определенные в системе координат  $OXYZ$ . Положение точки  $M$  определяет также вектор  $\bar{R}$ .

Введем вспомогательную систему координат  $SX'Y'Z'$  оси  $X', Y', Z'$  которой параллельны осям  $X, Y, Z$ . Начало координат находится в точке фотографирования  $S$ .

Координатами точки  $m$  в системе координат  $SX'Y'Z'$  будут  $X'Y'Z'$  или положение точки  $m$  на снимке определяется вектором  $\bar{R}'$ .

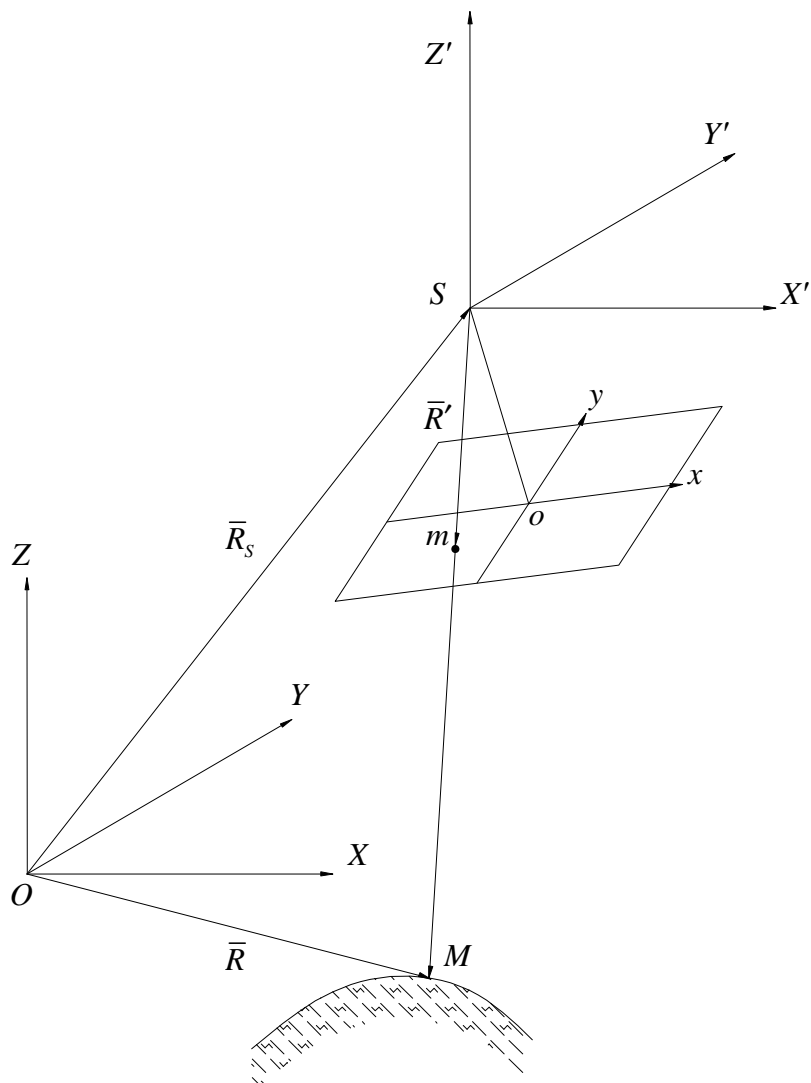


Рис. 12

Векторы  $\bar{R}'$  и  $\overline{SM} = (\bar{R} - \bar{R}_s)$  коллинеарны, следовательно, можно написать

$$k\bar{R}' = (\bar{R} - \bar{R}_s),$$

где  $k$  – скаляр.

Поделим обе части выражения на вектор  $\bar{R}'$ :

$$\frac{(\bar{R} - \bar{R}_s)}{\bar{R}'} = k. \quad (2)$$

Если спроектировать векторы  $\bar{R}$ ,  $\bar{R}'$  и  $\bar{R}_s$  на оси координат, то для компонентов этих векторов можно записать следующую пропорцию:

$$\frac{X - X_s}{X'} = \frac{Y - Y_s}{Y'} = \frac{Z - Z_s}{Z'} = k. \quad (3)$$

Решим выражение (3) относительно  $X$  и  $Y$ :

$$\begin{aligned} X &= X_s + (Z - Z_s) \frac{X'}{Z'}, \\ Y &= Y_s + (Z - Z_s) \frac{Y'}{Z'}. \end{aligned} \tag{4}$$

### Определение пространственных координат точек снимка

В формулах (4) присутствуют пространственные координаты точек снимка  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$ , полученные в системе координат  $SX'Y'Z'$ . На практике измеряют плоские координаты точек в системе координат  $oxy$  (рис. 13).

Пространственные координаты  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  точки снимка можно найти, если известны плоские координаты  $x, y$  и направляющие косинусы.

На рис. 13 имеем снимок  $P$ , полученный из центра фотографирования  $S$ .  $SX'Y'Z'$  – пространственная система координат, оси которой параллельны, например, геодезической.

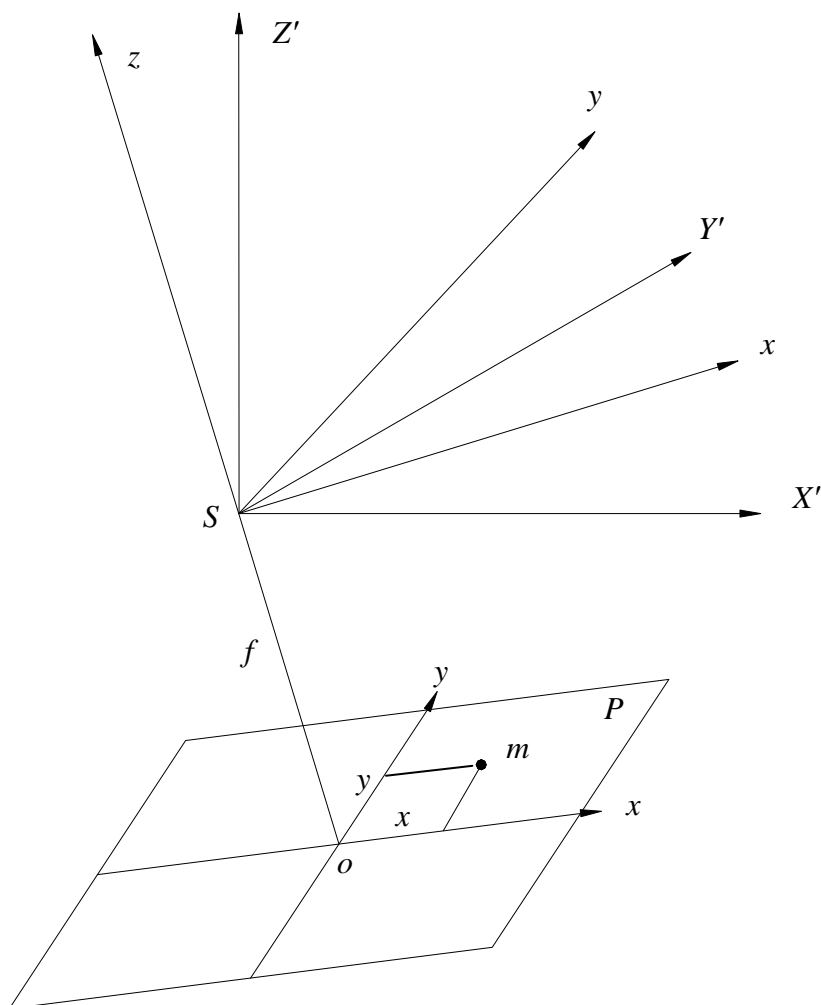


Рис. 13

Пусть главная точка  $o$  совпадает с началом координат снимка.

Введем вспомогательную систему пространственных координат  $Sxyz$ , оси  $x$  и  $y$  которой параллельны соответствующим осям координат снимка, а ось  $z$  направлена вдоль главного луча  $So$ .

Координаты точек снимка в системе координат  $Sxyz$  равны  $x, y, z = -f$ .

Используя известные в аналитической геометрии формулы преобразования координат, можно написать

$$\left. \begin{aligned} X' &= a_1x + a_2y - a_3f \\ Y' &= b_1x + b_2y - b_3f \\ Z' &= c_1x + c_2y - c_3f \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Формулы (5) позволяют перейти от плоских координат точки снимка к пространственным. Формулы обратного перехода имеют вид

$$\left. \begin{aligned} x &= a_1X' + b_1Y' + c_1Z' \\ y &= a_2X' + b_2Y' + c_2Z' \\ z &= a_3X' + b_3Y' + c_3Z' \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

В выражениях (5) и (6)  $a_i, b_i, c_i$  – направляющие косинусы, которые определяют взаимное положение двух систем координат  $SX'Y'Z'$  и  $Sxyz$ ;

$a_i$  – косинусы углов, составленных осью  $X'$  с осями  $x, y, z$ ;

$b_i$  – косинусы углов, составленных осью  $Y'$  с осями  $x, y, z$ ;

$c_i$  – косинусы углов, составленных осью  $Z'$  с осями  $x, y, z$ .

В матричной форме зависимости (5) и (6) будут иметь вид

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ -f \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x \\ y \\ -f \end{pmatrix}; \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ -f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = A' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Матрицы  $A$  и  $A'$  называются матрицами преобразования координат. Матрица  $A'$  получается из матрицы  $A$  заменой строк столбцами и называется транспонированной.

### Определение направляющих косинусов

Из центра фотографирования  $S$  получен снимок  $P$  при наклонном положении оптической оси (рис. 14).

$SX'Y'Z'$  – пространственная система координат.  $Sxyz$  – вспомогательная пространственная система координат, оси  $x$  и  $y$  которой параллельны осям  $x$  и  $y$  снимка, ось  $z$  совпадает с оптической осью.

Положение одной системы координат относительно другой характеризуется девятью направляющими косинусами, которые зависят от трех углов Эйлера. Такими углами являются угловые элементы внешнего ориентирования  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\chi$ . Положение оптической оси в пространстве характеризуется углами наклона снимка (продольным  $\alpha$  и поперечным  $\omega$ ). Угол  $\chi$  характеризует угол поворота снимка в своей плоскости.

Получим формулы, выражающие девять направляющих косинусов через угловые элементы внешнего ориентирования. Для этого повернем систему координат  $SX'Y'Z'$  на углы  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\chi$ .

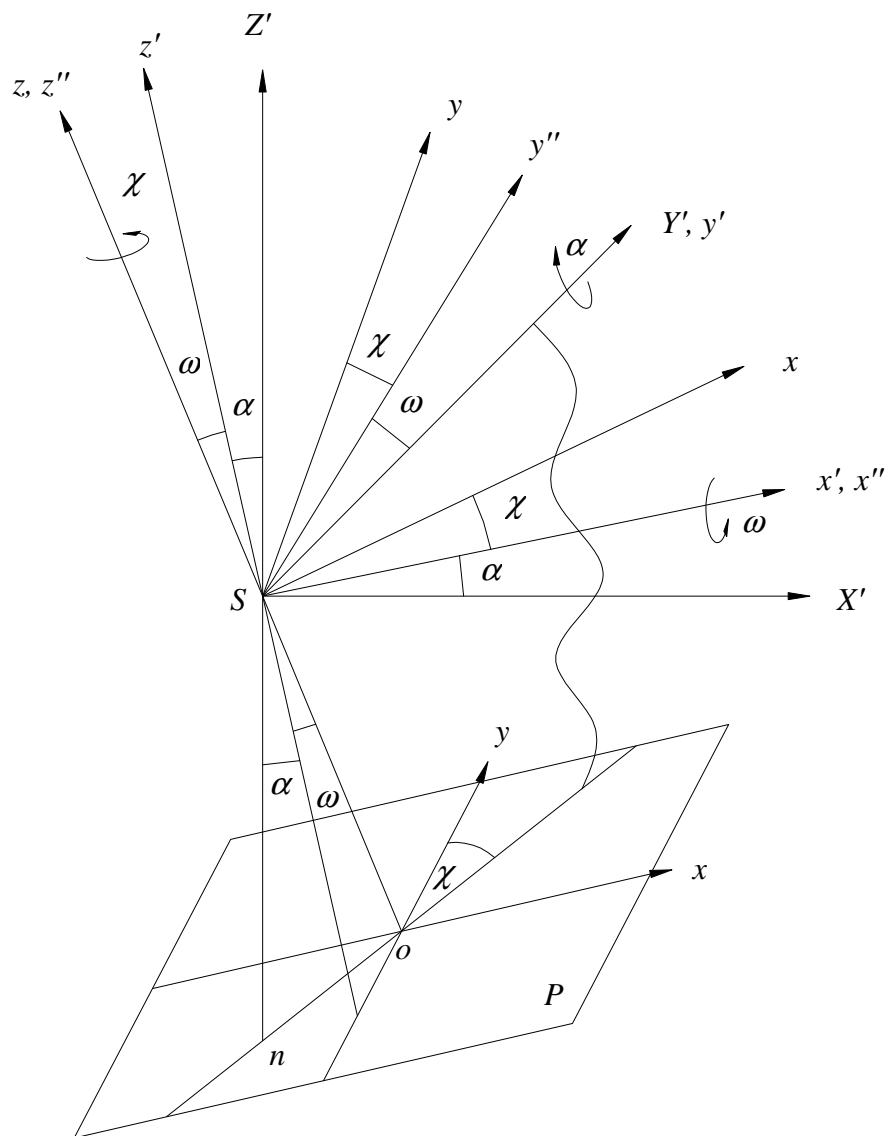


Рис. 14

В результате первого поворота вокруг оси  $Y'$  на угол  $\alpha$  система координат  $SX'Y'Z'$  преобразуется в систему координат  $Sx'y'z'$  (см. рис. 14). Этому повороту соответствует матрица

$$A_{\alpha} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix}. \quad (9)$$

На основании выражения (7) запишем

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = A_{\alpha} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Второй поворот выполним вокруг оси  $x'$  на угол  $\omega$ , который преобразует систему  $Sx'y'z'$  в  $Sx''y''z''$ . Элементы матрицы, соответствующей этому повороту, представляют собой косинусы углов, составленных осями  $x'y'z'$  и  $x''y''z''$ .

$$A_{\omega} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Формулы преобразования координат будут иметь вид

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = A_{\omega} \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix}. \quad (12)$$

После третьего поворота вокруг оси  $z''$  на угол  $\chi$  система координат  $Sx''y''z''$  переходит в систему координат  $Sxyz$ . Этому повороту соответствует матрица

$$A_{\chi} = \begin{pmatrix} \cos \chi & -\sin \chi & 0 \\ \sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

элементами которой являются косинусы углов, составленных осями  $x''y''z''$  и  $xyz$ .

Формулы связи координат будут

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix} = A_{\chi} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Подставим выражение (14) в уравнение (12), а полученный результат подставим в равенство (10):

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = A_{\alpha} A_{\omega} A_{\chi} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Матрицу  $A$ , определяющую переход от координат  $x, y, z$  к координатам  $X'Y'Z'$ , получим путем перемножения матриц, составленных для поворотов  $\alpha, \omega, \chi$ .

$$A = A_\alpha A_\omega A_\chi;$$

$$A_\alpha A_\omega = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \sin \omega & -\sin \alpha \cos \omega \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ \sin \alpha & \cos \alpha \sin \omega & \cos \alpha \cos \omega \end{pmatrix};$$

$$A_\alpha A_\omega A_\chi = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \chi - \sin \alpha \sin \omega \sin \chi & -\cos \alpha \sin \chi - \sin \alpha \sin \omega \cos \chi & -\sin \alpha \cos \omega \\ \cos \omega \sin \chi & \cos \omega \cos \chi & -\sin \omega \\ \sin \alpha \cos \chi + \cos \alpha \sin \omega \sin \chi & -\sin \alpha \sin \chi + \cos \alpha \sin \omega \cos \chi & \cos \alpha \cos \omega \end{pmatrix}$$

Сопоставляя полученное выражение с матрицей (7), напомним

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha \cos \chi - \sin \alpha \sin \omega \sin \chi \\ a_2 &= -\cos \alpha \sin \chi - \sin \alpha \sin \omega \cos \chi \\ a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega \\ b_1 &= \cos \omega \sin \chi \\ b_2 &= \cos \omega \cos \chi \\ b_3 &= -\sin \omega \\ c_1 &= \sin \alpha \cos \chi + \cos \alpha \sin \omega \sin \chi \\ c_2 &= -\sin \alpha \sin \chi + \cos \alpha \sin \omega \cos \chi \\ c_3 &= \cos \alpha \cos \omega \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Если известны направляющие косинусы, то, как следует из зависимостей (16), углы  $\alpha, \omega, \chi$  можно найти по формулам

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

Формулы (16) строгие и пригодны для любых значений элементов внешнего ориентирования снимков. Угловые элементы внешнего ориентирования планового снимка – величины малые, поэтому можно разложить в ряды тригонометрические функции углов  $\alpha, \omega, \chi$ , входящих в формулы (16), и получить более простые выражения для определения направляющих косинусов планового снимка.

Разложим функции  $\sin \alpha$  и  $\cos \omega$  в ряд

$$\sin \alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \dots$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2!} + \frac{\alpha^4}{4!} - \dots$$

Учтем только члены первого порядка малости и в результате получим

$$\begin{aligned} a_1 &= 1 & b_1 &= \chi & c_1 &= \alpha; \\ a_2 &= -\chi & b_2 &= 1 & c_2 &= \omega; \\ a_3 &= -\alpha & b_3 &= -\omega & c_3 &= 1. \end{aligned} \tag{17}$$

### Определение координат точек снимка по соответствующим координатам точек объекта

Формулы для решения этой задачи получим путем проектирования векторов  $\vec{R}' = \overline{Sm}$  и  $\vec{R}^* = \overline{SM}$  (рис. 15) на оси вспомогательной системы координат  $Sx'y'z'$ .

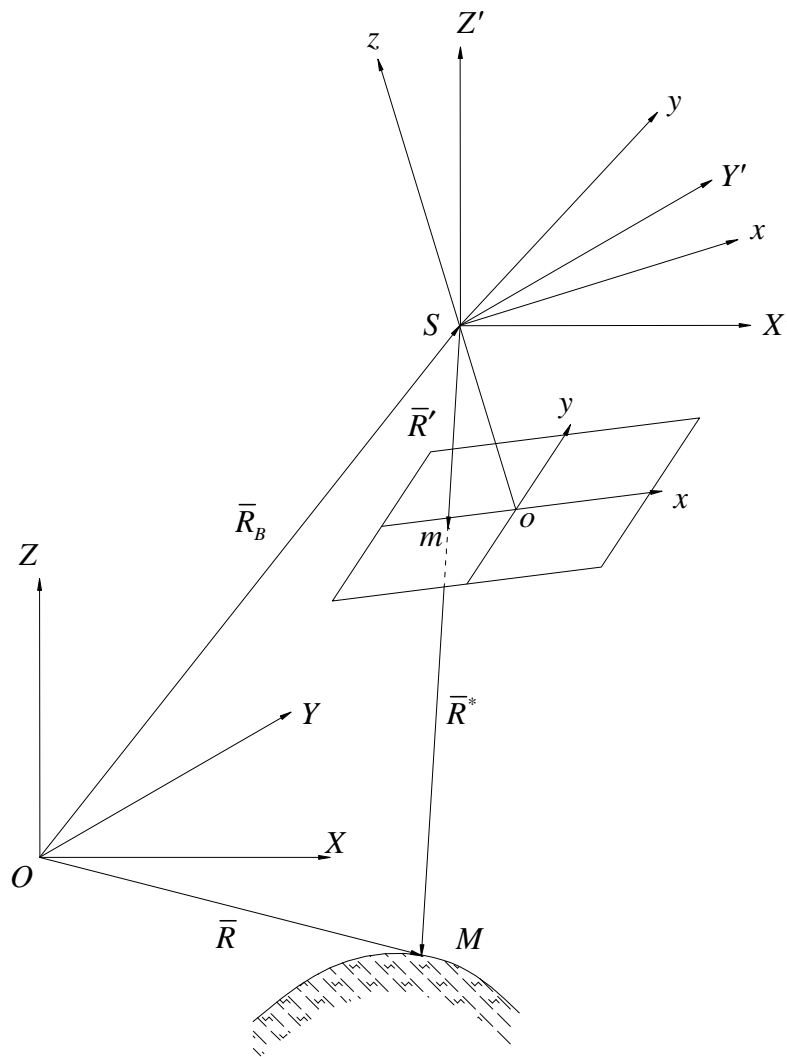


Рис. 15

Вектор  $\vec{R}'$  в системе координат  $Sx'y'z'$  определяется координатами  $x, y, z = -f$ .



Вектор  $\overline{R^*} = (\overline{R} - \overline{R}_s)$  в этой же системе координат определяется координатами  $X^*, Y^*, Z^*$ , а в системе координат  $SX'Y'Z'$

$$X^{**} = (X - X_s);$$

$$Y^{**} = (Y - Y_s);$$

$$Z^{**} = (Z - Z_s).$$

Запишем соотношение

$$\frac{R^*}{R'} = \frac{X^*}{x} = \frac{Y^*}{y} = \frac{Z^*}{-f}. \quad (18)$$

Решим равенство (18) относительно  $x$  и  $y$

$$x = -f \frac{X^*}{Z^*}; \quad y = -f \frac{Y^*}{Z^*}. \quad (19)$$

Координаты точки  $M$  измеряют в системе координат  $OXYZ$ . Чтобы перейти в систему координат  $Sxyz$ , необходимо применить формулы преобразования координат:

$$X^* = a_1 X^{**} + b_1 Y^{**} + c_1 Z^{**};$$

$$Y^* = a_2 X^{**} + b_2 Y^{**} + c_2 Z^{**};$$

$$Z^* = a_3 X^{**} + b_3 Y^{**} + c_3 Z^{**}.$$

или

$$X^* = a_1 (X - X_s) + b_1 (Y - Y_s) + c_1 (Z - Z_s);$$

$$Y^* = a_2 (X - X_s) + b_2 (Y - Y_s) + c_2 (Z - Z_s); \quad (20)$$

$$Z^* = a_3 (X - X_s) + b_3 (Y - Y_s) + c_3 (Z - Z_s).$$

Здесь  $a_i, b_i, c_i$  – направляющие косинусы;

$X, Y, Z$  – координаты точки  $M$  в системе  $OXYZ$ ;

$X_s, Y_s, Z_s$  – координаты точки  $S$  в системе  $OXYZ$ .

С учетом (20) формулы (19) примут вид

$$x = -f \frac{a_1 (X - X_s) + b_1 (Y - Y_s) + c_1 (Z - Z_s)}{a_3 (X - X_s) + b_3 (Y - Y_s) + c_3 (Z - Z_s)};$$

$$y = -f \frac{a_2 (X - X_s) + b_2 (Y - Y_s) + c_2 (Z - Z_s)}{a_3 (X - X_s) + b_3 (Y - Y_s) + c_3 (Z - Z_s)}. \quad (21)$$

### Основные формулы горизонтального снимка

Если снимок горизонтален, то углы  $\alpha = 0, \omega = 0$ . Пусть и угол  $\chi = 0$ . На основании выражения (16) найдем направляющие косинусы горизонтального снимка:

$$a_1 = b_2 = c_3 = 1;$$

$$a_2 = a_3 = b_1 = b_3 = c_1 = c_2 = 0.$$

В этом случае формулы (5) будут иметь вид

$$\begin{aligned} X' &= x^0; \\ Y' &= y^0; \\ Z' &= -f, \end{aligned} \tag{22}$$

где  $x^0, y^0$  – координаты точки горизонтального снимка. Формулы (4) преобразуются к виду

$$\begin{aligned} X &= X_s - (Z - Z_s) \frac{x^0}{f}; \\ Y &= Y_s - (Z - Z_s) \frac{y^0}{f}. \end{aligned} \tag{23}$$

Уравнения (21) примут вид

$$\begin{aligned} x^0 &= -f \frac{(X - X_s)}{(Z - Z_s)}; \\ y^0 &= -f \frac{(Y - Y_s)}{(Z - Z_s)}. \end{aligned} \tag{24}$$

### Зависимость между координатами соответствующих точек горизонтального и наклонных снимков

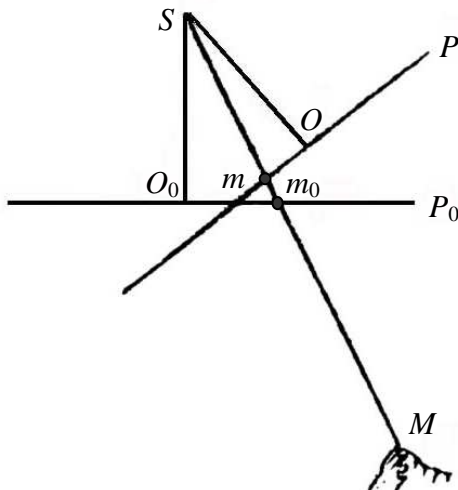


Рис. 16

По координатам точки  $m$  (рис. 16), измеренным на наклонном снимке, можно найти координаты соответствующей точки на горизонтальном снимке, если известны угловые элементы внешнего ориентирования наклонного снимка. Этот процесс называется трансформированием координат.

Пусть  $x^0, y^0$  – координаты изображения  $m_0$  точки  $M$  объекта на горизонтальном аэроснимке  $P_0$ , полученном из точки фотографирования  $S$  (см. рис. 16), а  $x$  и  $y$  – координаты изображения той же точки местности на наклонном снимке  $P$ , полученном из той же точки фотографирования  $S$ .

Используя выражения (23), (4) и (5), можно написать следующие формулы для определения координат точки  $M$ :

$$\begin{aligned}
X &= X_s - (Z - Z_s) \frac{x^0}{f} = X_s + (Z - Z_s) \frac{X'}{Z'} = X_s + (Z - Z_s) \frac{a_1x + a_2y - a_3f}{c_1x + c_2y - c_3f} \\
Y &= Y_s - (Z - Z_s) \frac{y^0}{f} = Y_s + (Z - Z_s) \frac{Y'}{Z'} = Y_s + (Z - Z_s) \frac{b_1x + b_2y - b_3f}{c_1x + c_2y - c_3f}
\end{aligned} \tag{25}$$

Решим полученные выражения относительно  $x^0, y^0$ , в результате получим формулы для определения координат горизонтального снимка  $x^0, y^0$ , если известны координаты наклонного снимка  $x, y$ .

$$\begin{aligned}
x^0 &= -f \frac{a_1x + a_2y - a_3f}{c_1x + c_2y - c_3f}; \\
y^0 &= -f \frac{b_1x + b_2y - b_3f}{c_1x + c_2y - c_3f}.
\end{aligned} \tag{26}$$

Формулы (26) строгие, и их можно использовать при любых значениях угловых элементов внешнего ориентирования наклонного снимка.

Для трансформирования координат точек планового снимка можно использовать приближенные формулы связи координат наклонного и горизонтального снимков. Для этого подставим в уравнения (26) значения направляющих косинусов  $a_i, b_i, c_i$  с учетом только членов первого порядка малости из выражений (I7):

$$\begin{aligned}
x^0 &= -f \frac{x - \chi y + \alpha f}{\alpha x + \omega y - f}; \\
y^0 &= -f \frac{\chi x + y + \omega f}{\alpha x + \omega y - f}.
\end{aligned} \tag{27}$$

Выполним преобразования применительно к  $x^0$ , для этого и числитель, и знаменатель умножим на  $1/f$ .

$$x^0 = -f \frac{(x - \chi y + \alpha f) \left( \frac{1}{f} \right)}{(\alpha x + \omega y - f) \left( \frac{1}{f} \right)} = (x - \chi y + \alpha f) \left[ 1 - \left( \frac{x\alpha}{f} + \frac{y\omega}{f} \right) \right]^{-1} \tag{28}$$

Из математики известно, что  $(1 - \varepsilon)^{-1} = 1 + \varepsilon + \varepsilon^2 + \dots$ , если  $\varepsilon$  – величина малая.

Ограничиваясь величинами первого порядка малости, будем иметь

$$(1 - \varepsilon)^{-1} = 1 + \varepsilon. \tag{29}$$

В выражении (28)  $\left( \frac{x\alpha}{f} + \frac{y\omega}{f} \right)$  – величина малая, поэтому уравнение (28) с учетом (29) будет иметь вид

$$x^0 = x - y\chi + f\alpha + \frac{x^2\alpha}{f} + \frac{xy\omega}{f} - \frac{xy\alpha\chi}{f} - \frac{y^2\omega\chi}{f} + \frac{fx\alpha^2}{f} + \frac{fy\omega\alpha}{f}. \tag{30}$$

В равенстве (30)  $\frac{xy\alpha\chi}{f}$ ;  $\frac{y^2\omega\chi}{f}$ ;  $x\alpha^2$ ;  $y\omega\alpha$  являются членами второго порядка малости и ими можно пренебречь, тогда

$$x^0 = x + \left( f + \frac{x^2}{f} \right) \alpha + \frac{xy}{f} \omega - y\chi. \quad (31)$$

Аналогично получим формулу для координаты  $y^0$

$$y^0 = x + \frac{xy}{f} \alpha + \left( f + \frac{y^2}{f} \right) \omega + x\chi. \quad (32)$$

### Поправка за превышение правого конца базиса фотографирования

При идеальном случае съемки должны быть горизонтальны не только снимки, но и базис фотографирования. В действительности базис фотографирования имеет наклон. На рис. 17 показано два положения правого аэроснимка: идеальное  $P_n$  и с превышением  $\Delta H - P'_n$ .

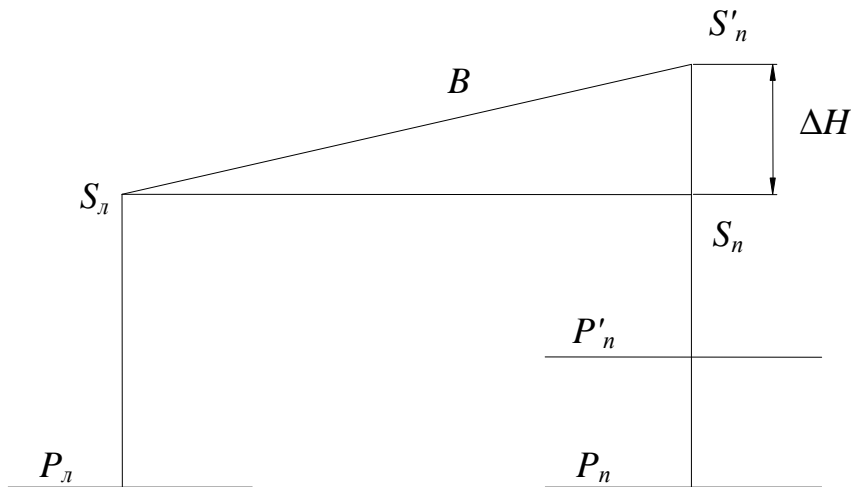


Рис. 17

Найдем поправку в координаты точки правого аэроснимка за превышение правого конца базиса фотографирования. Спроектируем точку  $A$  местности (рис. 18) на снимки  $P_n$  и  $P'_n$ , получим точки  $a$  и  $a'$ .

$$o'a' = x'; \quad oa = x; \quad OA = X.$$

Из подобия треугольников  $\Delta S_n oa \sim \Delta S_n OA$  и  $\Delta S'_n o'a' \sim \Delta S'_n OA$  можно написать

$$\frac{x}{X} = \frac{f}{H}; \quad x = \frac{f}{H} X \quad \text{и} \quad (33)$$

$$\frac{x'}{X} = \frac{f}{H + \Delta H}; x' = \frac{f}{H + \Delta H} X. \quad (34)$$

Поправка за превышение правого конца базиса фотографирования будет равна

$$\Delta x = x - x'. \quad (35)$$

Подставим в равенство (35) выражения (33) и (34):

$$\Delta x = \frac{f}{H} X - \frac{f}{H + \Delta H} X = \frac{f \Delta H}{H(H + \Delta H)} X. \quad (36)$$

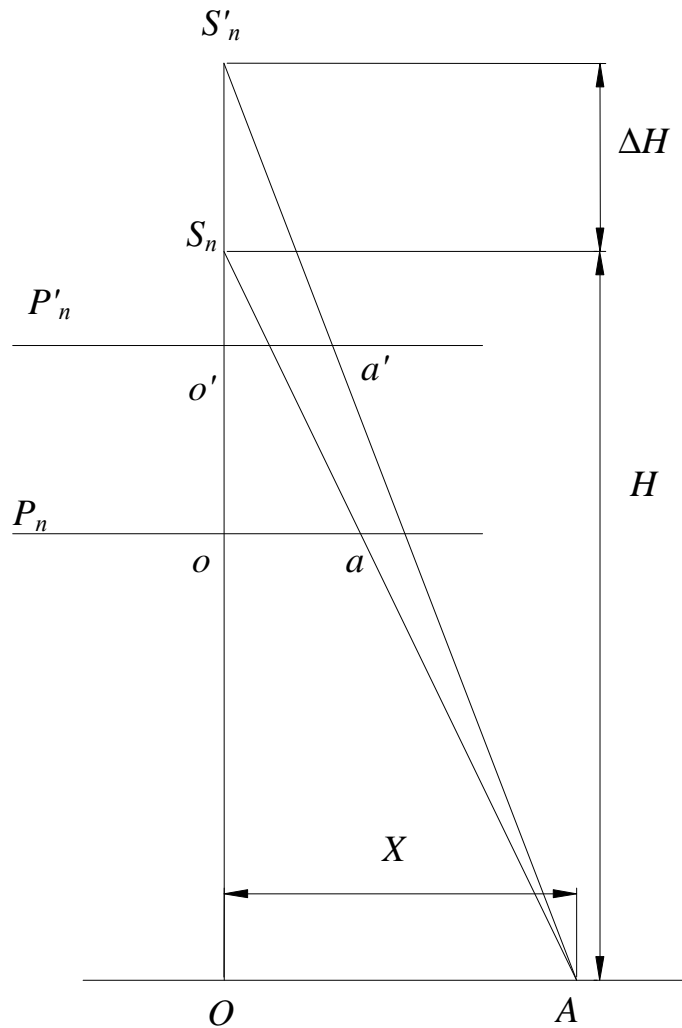


Рис. 18

В выражении (36)  $\frac{fX}{H + \Delta H} = x'$ , на основании формулы (34), следовательно,

$$\Delta x = \frac{\Delta H}{H} x'. \quad (37)$$

## Связь между продольными параллаксами на горизонтальном и наклонном снимках

Пусть в процессе аэросъемки получены снимки  $P_l$  и  $P_n$  из центров фотографирования  $S_l$  и  $S_n$  (рис. 19). При идеальном случае съемки мы бы имели снимки  $P_l^0$  и  $P_n^0$ . Найдем зависимость между продольным параллаксом горизонтального  $P^0$  и наклонного  $P$  снимков.

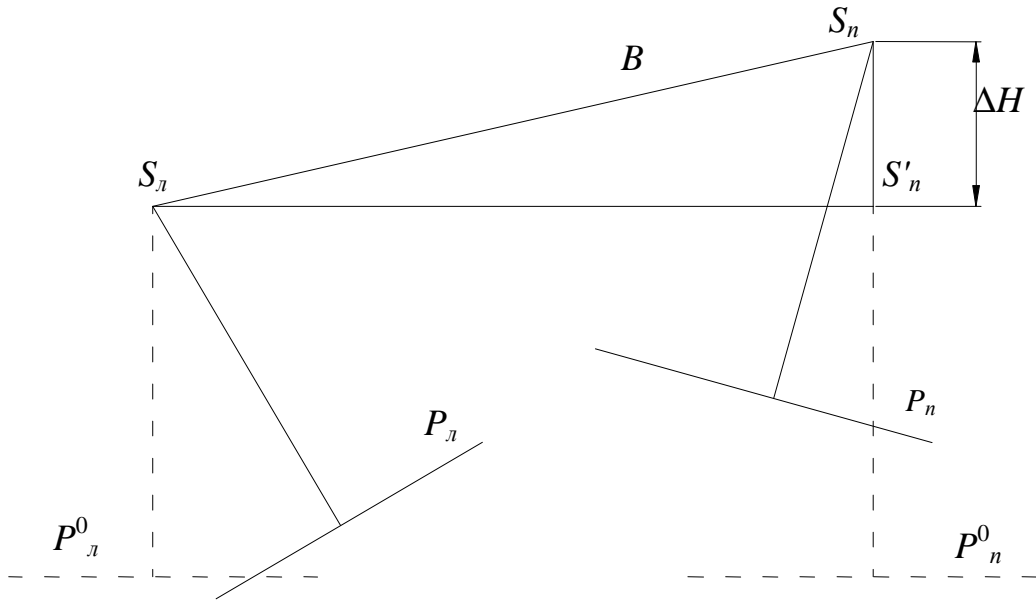


Рис. 19

При идеальном случае съемки продольный параллакс равен

$$P^0 = x_l^0 - x_n^0, \quad (38)$$

где  $x_l^0$  – абсцисса точки на левом снимке  $P_l^0$ ,

$x_n^0$  – абсцисса той же точки на правом снимке  $P_n^0$ .

В соответствии с выражением (31) зависимость между абсциссами горизонтального и наклонного снимков имеет вид

$$x_l^0 = x_l + \left( f + \frac{x_l^2}{f} \right) \alpha_l + \frac{x_l y_l}{f} \omega_l - y_l \chi_l. \quad (39)$$

Для снимка  $P_n^0$  необходимо в правую часть выражения (39) ввести поправку за превышение правого конца базиса фотографирования

$$x_n^0 = x_n + \left( f + \frac{x_n^2}{f} \right) \alpha_n + \frac{x_n y_n}{f} \omega_n - y_n \chi_n + x_n \frac{\Delta H}{H}. \quad (40)$$

На плановых аэроснимках ординаты соответственных точек мало отличаются друг от друга, поэтому будем считать, что  $y_l = y_n$ . Кроме того, вместо координаты  $x_l$  в выражение (39) подставим  $x_l = x_n + P$ , тогда

$$\begin{aligned}
 x_l^0 &= x_l + \left( f + \frac{(x_n + P)^2}{f} \right) \alpha_l + \frac{(x_n + P)y_n}{f} \omega_l - y_n \chi_l = \\
 &= x_n + \left( f + \frac{(x_n^2 + 2Px_n + P^2)}{f} \right) \alpha_l + \frac{x_n y_n}{f} \omega_l + \frac{P y_n}{f} \omega_l - y_n \chi_l = \\
 &= x_n + \left( f + \frac{x_n^2}{f} \right) \alpha_l + \frac{x_n y_n}{f} \omega_l - y_n \chi_l + \frac{2Px_n}{f} \alpha_l + \frac{P^2}{f} \alpha_l + \frac{P y_n}{f} \omega_l.
 \end{aligned} \tag{41}$$

Обозначим

$$(\alpha_n - \alpha_l) = \Delta\alpha; (\omega_n - \omega_l) = \Delta\omega; (\chi_n - \chi_l) = \Delta\chi; x_l - x_n = P,$$

тогда, с учетом выражений (40) и (41), формула (38) будет

$$P^0 = P - f\Delta\alpha + \frac{P^2}{f}\alpha_l - \frac{x_n^2}{f}\Delta\alpha - \frac{x_n y_n}{f}\Delta\omega - y_n \left( \Delta\chi - \frac{P}{f}\omega_l \right) - x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P}{f}\alpha_l \right). \tag{42}$$

Первая поправка к параметру  $P$  является постоянной для всех точек данной стереопары. Вторую поправку тоже можно считать постоянной, если рельеф местности небольшой. Величины остальных поправок зависят от положения точки на правом аэроснимке.

### Уравнение ориентирования на стереометре

Примем главную точку правого снимка стереопары  $O_n$  за начальную (рис. 20).

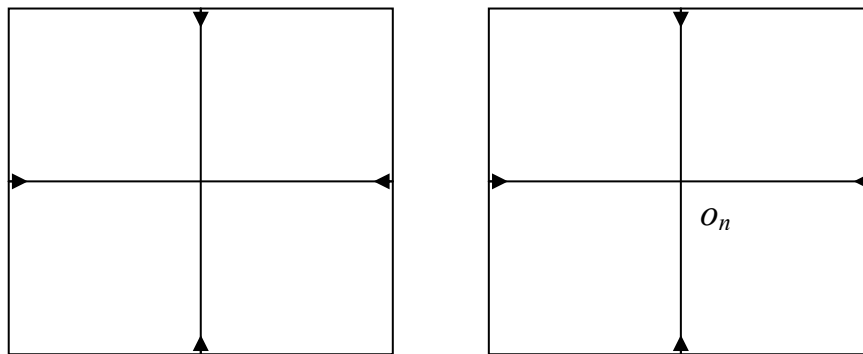


Рис. 20

Продольный параллакс этой точки обозначим  $P_1$ . Для любой другой точки стереопары можно написать равенство

$$P = P_1 + \Delta P, \tag{43}$$

где  $\Delta P$  – разность продольных параллаксов.

С учетом выражения (43) зависимость (42) будет иметь вид

$$P^0 = P - f\Delta\alpha + \frac{(P_1 + \Delta P)^2}{f}\alpha_n - \frac{x_n^2}{f}\Delta\alpha - \frac{x_n y_n}{f}\Delta\omega - y_n \left( \Delta\chi - \frac{(P_1 + \Delta P)}{f}\omega_n \right) - x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2(P_1 + \Delta P)}{f}\alpha_n \right).$$

Раскроем скобки, получим

$$P^0 = P - f\Delta\alpha + \frac{P_1^2}{f}\alpha_n + \frac{2P_1\Delta P}{f}\alpha_n + \frac{\Delta P^2}{f}\alpha_n - \frac{x_n^2}{f}\Delta\alpha - \frac{x_n y_n}{f}\Delta\omega - y_n \left( \Delta\chi - \frac{P_1}{f}\omega_n - \frac{\Delta P}{f}\omega_n \right) - x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f}\alpha_n - \frac{2\Delta P}{f}\alpha_n \right). \quad (44)$$

В выражении (44) член  $\frac{\Delta P^2}{f}\alpha_n$  в дальнейшем учитывать не будем,

так как он мал.

Для главной точки правого снимка  $o_n$  (рис. 20)  $x_n = y_n = \Delta P = 0$ . Следовательно, зависимость (44) для этой точки будет представлена в следующем виде:

$$P_1^0 = P_1 - f\Delta\alpha - \frac{P_1}{f}\alpha_n. \quad (45)$$

Вычтем из равенства (44) равенство (45), тогда разность продольных параллаксов  $\Delta P$  будет

$$\Delta P^0 = \Delta P - x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f}\alpha_n - \frac{2\Delta P}{f}\alpha_n \right) - \frac{x_n^2}{f}\Delta\alpha - \frac{x_n y_n}{f}\Delta\omega - y_n \left( \Delta\chi - \frac{P_1}{f}\omega_n - \frac{\Delta P}{f}\omega_n \right) + \frac{2P_1\Delta P}{f}\alpha_n \quad (46)$$

Это и есть уравнение ориентирования снимков на стереометре, которое выражает зависимость между разностью продольных параллаксов на горизонтальных снимках  $\Delta P^0$  и соответствующей разностью продольных параллаксов  $\Delta P$  на плановых снимках. Поправки к разности продольных параллаксов зависят от элементов внешнего ориентирования, взаимного ориентирования, рельефа местности и от положения точки на правом снимке.

Все поправки, входящие в выражение (46), учитываются коррекционными механизмами стереометра, кроме последней, которую вычисляют. Поправки, вводимые коррекционными механизмами, делят на две группы:

а) поправки первого порядка

$$\delta P' = \underbrace{-x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f}\alpha_n \right)}_{\text{корректор } \Delta d} - \underbrace{\frac{x_n^2}{f}\Delta\alpha}_{\text{корректор } \beta} - \underbrace{\frac{x_n y_n}{f}\Delta\omega}_{\text{корректор } \rho_0} - \underbrace{y_n \left( \Delta\chi - \frac{P_1}{f}\omega_n \right)}_{\text{корректор } \chi_n};$$





Корректор призван решать формулу

$$\delta P_{\Delta d} = -x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f} \alpha_n \right). \quad (49)$$

Приравняем выражения (48) и (49)

$$AB \frac{x_n}{d} = -x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f} \alpha_n \right). \quad (50)$$

Если в выражении (50) величина

$$AB = -d \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f} \alpha_n \right), \quad (51)$$

то, очевидно, корректор  $\Delta d$  решает свою задачу.

### *Корректор $\beta$*

Корректор  $\beta$  состоит из двух линеек:  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 22), вращающихся вокруг точки  $S$ . Линейка  $L_1$  шарнирно связана с общей кареткой, а линейка  $L_2$  – с кареткой правого аэроснимка. Линейки могут взаимно разворачиваться на угол  $\beta$  и совместно на угол  $\lambda$ . При отвесном положении линейки  $L_2$  к оси  $X$  стереометра правая нить совпадает с главной точкой правого аэроснимка. Линейка  $L_2$  корректора  $\beta$  в тоже время является линейкой  $L$  корректора  $\Delta d$ . Оба этих корректора объединены в один узел только конструктивно. Каждый корректор решает только свою задачу.

Перемещение общей каретки на расстояние  $AA' = x$  вызывает перемещение правого аэроснимка на величину  $BB' = x + \delta P_\beta$ , следовательно,

$$\delta P_\beta = BB' - AA'. \quad (52)$$

Обратимся к рис. 22 и рассмотрим прямоугольные треугольники  $BSB'$ ,  $BSA'$  и  $ASB$ .  $SB = d$  – это конструктивный параметр прибора.

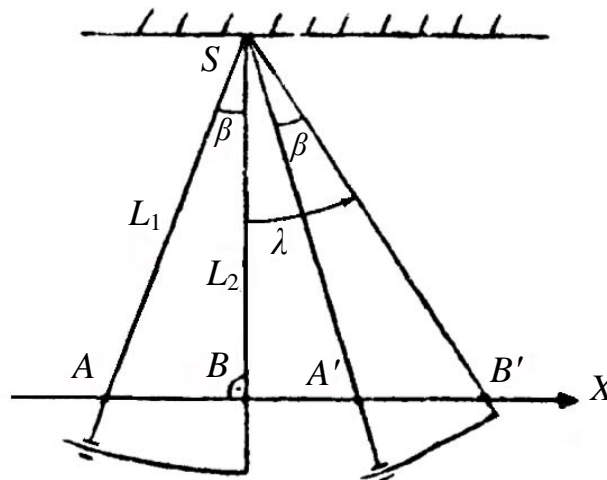


Рис. 22

$$BB' = dtg\lambda; \quad AA' = AB + BA'; \quad AB = dtg\beta; \quad BA' = dtg(\lambda - \beta)$$

Подставим полученные значения в равенство (52):

$$\begin{aligned} \delta P_{\beta} &= d [tg\lambda - tg\beta - tg(\lambda - \beta)] = \\ &= d \left[ tg\lambda - tg\beta - \frac{tg\lambda - tg\beta}{1 + tg\lambda tg\beta} \right] \end{aligned} \quad (53)$$

Приведем выражение в скобках уравнения (53) к общему знаменателю:

$$\begin{aligned} \delta P_{\beta} &= d \frac{tg\lambda - tg\beta + tg\beta tg^2\lambda - tg\lambda tg^2\beta - tg\lambda + tg\beta}{1 + tg\lambda tg\beta}, \\ \delta P_{\beta} &= d \frac{tg\beta tg^2\lambda - tg\lambda tg^2\beta}{1 + tg\lambda tg\beta}. \end{aligned} \quad (54)$$

Для плановых аэроснимков величины, вводимые корректорами, малы, поэтому можно принять  $BB' = x_n$  и, следовательно,

$$tg\lambda = \frac{x_n}{d}. \quad (55)$$

Кроме того, вместо  $tg\beta$  при малом развороте линеек можно использовать  $\beta$ , а членом  $tg\lambda tg\beta$  в знаменателе выражения (54) пренебречь, тогда

$$\delta P_{\beta} = d \left[ \frac{x_n^2}{d^2} \beta - \frac{x_n}{d} \beta^2 \right]. \quad (56)$$

В формуле (56)  $\beta^2$  – величина второго порядка малости, которой тоже пренебрегают, поэтому выражение (56) будет иметь вид

$$\delta P_{\beta} = \frac{x_n^2}{d} \beta. \quad (57)$$

В соответствии с теорией корректор  $\beta$  должен решать следующее выражение:

$$\delta P_{\beta} = -\frac{x_n^2}{f} \Delta\alpha. \quad (58)$$

Приравняв формулы (57) и (58), получим

$$\beta = -\frac{d}{f} \Delta\alpha. \quad (59)$$

Если на корректоре  $\beta$  установить значение, вычисленное по формуле (59), то он будет решать свою задачу.

### *Корректор $\rho$*

Корректор  $\rho$  состоит из рычага  $r$ , скрепленного под прямым углом с нитедержателем  $NN(N'N')$ , и линейки  $L$ , которую можно наклонять к оси  $X$  прибора на угол  $\rho_0$  вокруг оси  $Q$  (рис. 23).

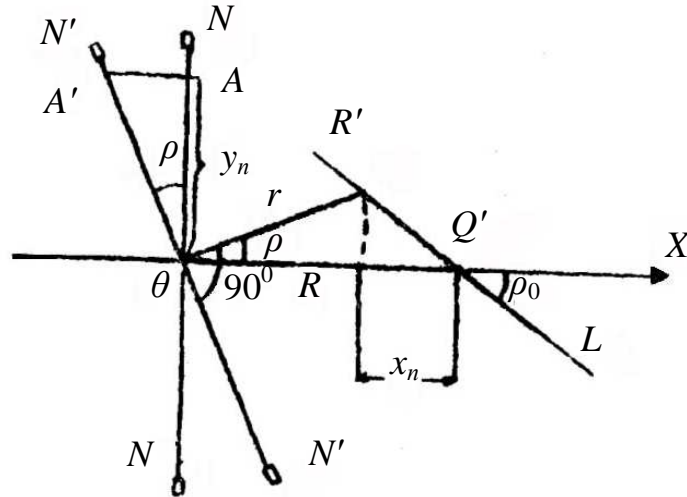


Рис. 23

Рычаг  $r$  в точке  $R(R')$  оканчивается роликом.

В начальном положении ось  $Q$  совпадает с точкой  $R$ . В это время правая нить проходит через главную точку правого аэроснимка перпендикулярно оси  $X$  прибора. При смещении общей каретки относительно начального положения на величину  $x$  ролик  $R$  рычага  $r$  будет скользить по линейке  $L$  и займет положение  $R'$ , а так как рычаг  $r$  жестко скреплен с нитедержателем  $NN$ , то нить повернется на угол  $\rho$  и в параллакс наблюдаемой точки введется поправка  $\delta P_{\rho_0} = AA'$ . Из рис. 23 следует

$$\delta P_{\rho_0} = AA' = \theta A \operatorname{tg} \rho = y_n \rho. \quad (60)$$

Рассмотрим треугольник  $\theta R'R$ . Так как угол  $\rho$  небольшой, то этот треугольник можно считать прямоугольным с углом  $90^\circ$  при вершине  $R$ .

$$\rho = \frac{RR'}{r}. \quad (61)$$

Отрезок  $RR'$  найдем из прямоугольного треугольника  $RR'Q$ :

$$RR' = x_n \rho_0$$

Подставим полученное значение в равенство (61).

$$\rho = \frac{x_n \rho_0}{r}. \quad (62)$$

Значение  $\rho$  подставим в выражение (60).

$$\delta P_{\rho_0} = \frac{x_n y_n}{r} \rho_0. \quad (63)$$

Корректор должен решать следующую формулу:

$$\delta P_{\rho_0} = -\frac{x_n y_n}{f} \Delta \omega. \quad (64)$$

Приравняем выражения (63) и (64) и решим относительно  $\rho_0$

$$\rho_0 = -\frac{r}{f} \Delta\omega. \quad (65)$$

*Корректор  $\chi_n$*

Корректор  $\chi_n$  состоит из рычага  $r$ , скрепленного под прямым углом с правым нитедержателем  $NN(N'N')$ , (рис. 23) и позволяет изменять угол между нитью и осью  $X$  стереометра. Этот угол сохраняется постоянным при движении общей каретки. Поправка в измеряемый параллакс будет  $\delta P_{\chi_n} = AA'$ .

Согласно рис. 24

$$\delta P_{\chi_n} = y_n \chi_n. \quad (66)$$

Коррекционный механизм  $\chi_n$  должен решать следующую формулу:

$$\delta P_{\chi_n} = -y_n \left( \Delta\chi + \frac{P_1}{f} \omega_l \right). \quad (67)$$

Приравняв выражения (66) и (67), получим

$$\delta P_{\chi_n} = -\Delta\chi - \frac{P_1}{f} \omega_l. \quad (68)$$

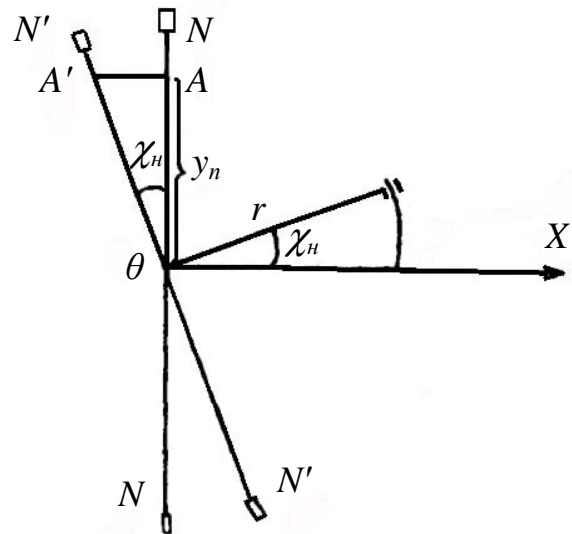


Рис. 24

### Ориентирование снимков на стереометре

Процесс установки снимков и коррекционных механизмов в положение, при котором измеренные на стереометре разности продольных параллаксов соответствуют идеальному случаю съемки, называют ориентированием снимков.

Существуют три способа ориентирования аэроснимков: ориентирование по установочным величинам; по опорным высотным точкам и комбинированный способ.

Ориентирование аэроснимков равнинного района на стереометре по установочным величинам осуществляется путем установки на шкалах корректоров величин  $\Delta d, \beta, \rho_0, \chi_n$ , вычисленных по формулам (51), (59), (65) и (68). Для этого необходимо знать элементы ориентирования снимков:  $\Delta H, \alpha_l, \omega_l, \Delta\alpha, \Delta\chi, H$ .

Ориентирование аэроснимков по опорным высотным точкам выполняется при помощи корректоров путем установки их в нужное положение

по значениям измеренных и предвычисленных по формуле (1) разностей продольных параллаксов для точек с известными высотами.

При комбинированном способе ориентирование снимков выполняется путем сочетания первых двух способов.

Для того чтобы можно было рассчитать установочные величины, необходимо знать элементы внешнего ориентирования снимков. В процессе аэросъемки стремятся получить аэроснимки с малыми углами наклона, но зафиксировать их с достаточной точностью в настоящее время не представляется возможным. Поэтому ориентирование аэроснимков по установочным величинам выполняют крайне редко, когда известны или получены, например, при построении сетей пространственной фототриангуляции, угловые элементы внешнего ориентирования снимков.

Ориентирование аэроснимков по опорным высотным точкам выполняется также крайне редко, так как в этом случае приходится произвести большое число приближений при установке корректоров  $\Delta d$  и  $\beta$ . Это следует из анализа уравнения (46), а именно: и корректор  $\Delta d$ , и корректор  $\beta$  вводят поправки пропорционально абсциссе  $x_n$  на правом снимке. И если выбрать точки для установки этих двух корректоров, как показано на рис. 25, введя поправку в измеренную разность продольных параллаксов  $\Delta P$  между точками 1-2 корректором  $\beta$ , то, ориентируя точки 1-3 корректором  $\Delta d$ , мы введем поправку в точку 2 и таким образом разориентируем предыдущую установку и т.д.

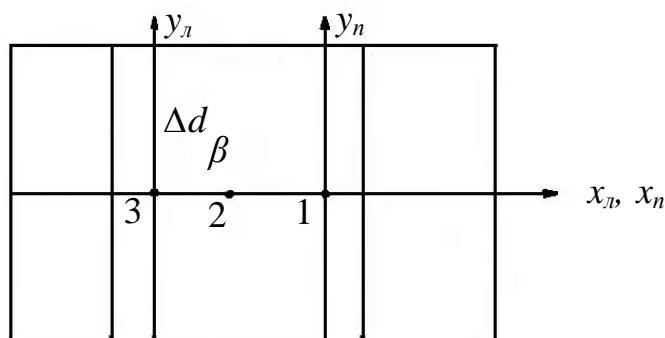


Рис. 25

Поэтому чаще всего выполняют ориентирование аэроснимков комбинированным способом. В этом случае можно определить две установочные величины для корректоров  $\Delta d$  и  $\rho_0$ . Для этого необходимо на стереокомпараторе измерить поперечные параллаксы  $q$  для нескольких точек и по измеренным параллаксам вычислить элементы взаимного ориентирования  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\omega$ , подставить их в формулы (59) и (65), вычисленные значения установить на корректорах. Процесс ориентирования снимков на стереометре в этом случае значительно упростится.

Рассмотрим, каково должно быть расположение точек, какими корректорами работать на точках, а также последовательность работы, если известна одна установочная величина для корректора  $\beta$ .

Как видно из уравнения (46), значение вводимой в параллакс поправки зависит не только от элементов ориентирования снимков, но и от координат точки на правом снимке. Если  $x_n$  или  $y_n$  точки равны нулю, то не все корректоры будут вводить поправки (рис. 26). Как видим на точках 4 и 6, можно ввести поправку в параллакс только корректором  $\chi_n$ , на точках 2 и 3 – корректором  $\Delta d$ ; в точку 1 ни один корректор не вводит поправок; на точках 5 и 7 – все корректоры вводят поправки. Ориентирование ведется по парам точек.

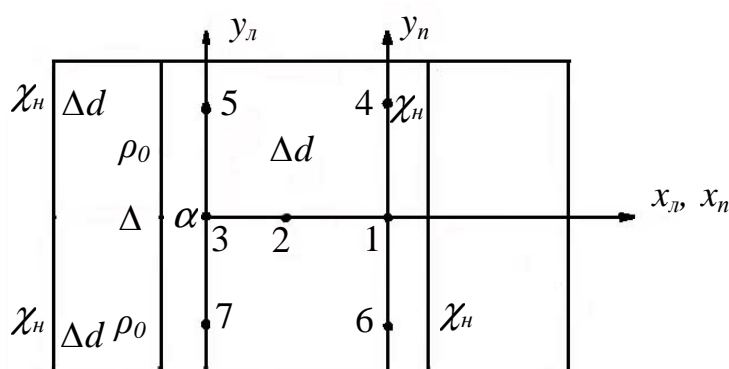


Рис. 26

Ориентирование необходимо начинать с тех точек, где работает только один или ни одного корректора, например, с точек 4-6 или 1-2. Только устранив рассогласование между измеренной и истинной разностью продольных параллаксов на этих точках и тем самым исключив влияние корректоров  $\chi_n$  и  $\Delta d$  на точках 5 и 7, переходят к установке корректора  $\rho_0$ . Для этого можно использовать любую из перечисленных пар точек 6-7, 4-5, 1-5.

Чем ближе к схеме расположения точек, показанных на рис. 26, будут выбраны высотные опознаки, тем быстрее будет выполнено ориентирование снимков на стереометре.

## 7. ВЗАИМНОЕ И ВНЕШНЕЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ СНИМКОВ

### Способы определения элементов внешнего ориентирования

Способы определения элементов внешнего ориентирования можно разделить на две группы:

1. Способы, основанные на использовании координат опорных точек.
2. Способы, основанные на использовании специальных приборов.

В первом случае элементы внешнего ориентирования находятся из решения уравнений, выражающих зависимость между координатами опорных точек местности и соответствующими координатами точек снимка.

Во втором случае элементы внешнего ориентирования определяют по показаниям специальных приборов, установленных на борту летательного аппарата.

### Определение элементов внешнего ориентирования снимка по опорным точкам

Для определения элементов ориентирования одиночного снимка используют формулы связи координат точек местности и снимка (21)

$$x = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)},$$

$$y = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}.$$

Направляющие косинусы  $a_i, b_i, c_i$  зависят от угловых элементов внешнего ориентирования  $\alpha, \omega, \chi$ . В уравнение (21) входят также линейные элементы внешнего ориентирования снимка  $X_s, Y_s, Z_s$ . При решении задачи задают приближенные значения элементов внешнего ориентирования аэроснимка, например,  $\alpha = 0, \omega = 0, \chi = 0$  и координат центров фотографирования и по формулам (21) вычисляют координаты ( $x$ ) и ( $y$ ) для точек местности с известными координатами  $X, Y, Z$ . Координаты этих же опорных точек на снимке  $x$  и  $y$  измеряют на стереокомпараторе, и если вычисленные ( $x$ ) и ( $y$ ) и измеренные  $x, y$  координаты не равны между собой, то это говорит о том, что взятые нами приближенные значения элементов ориентирования не равны истинным и в приближенные значения надо ввести поправки. Для этого на основании выражений (21) составляют уравнения поправок, которые будут иметь вид

$$\begin{aligned} a\delta X_s + b\delta Y_s + c\delta Z_s + d\delta\alpha + e\delta\omega + f\delta\chi + \ell &= \vartheta, \\ a'\delta X_s + b'\delta Y_s + c'\delta Z_s + d'\delta\alpha + e'\delta\omega + f'\delta\chi + \ell' &= \vartheta', \end{aligned} \quad (69)$$

где  $a, b, \dots, f'$  – частные производные от  $x$  и  $y$  уравнений (21) по соответствующим параметрам  $X_s, Y_s, \dots, \chi$ , т.е.

$$\begin{aligned} a &= \frac{\partial x}{\partial X_s}; \quad b = \frac{\partial x}{\partial Y_s}; \quad \dots \quad f' = \frac{\partial y}{\partial \chi}; \\ \ell &= (x) - x; \quad \ell' = (y) - y; \end{aligned}$$

Одна опорная точка дает два уравнения вида (69), в которых шесть неизвестных ( $\alpha, \omega, \chi, X_s, Y_s, Z_s$ ). Для нахождения элементов внешнего ори-



ентирования необходимо иметь минимум три опорных точки. Система уравнений поправок для  $n$  точек будет иметь вид

$$\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 & e_1 & f_1 \\ a_1' & b_1' & c_1' & d_1' & e_1' & f_1' \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_n & b_n & c_n & d_n & e_n & f_n \\ a_n' & b_n' & c_n' & d_n' & e_n' & f_n' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta X_s \\ \delta Y_s \\ \delta Z_s \\ \delta \alpha \\ \delta \omega \\ \delta \chi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} l_1 \\ l_1' \\ \dots \\ l_n \\ l_n' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta_1' \\ \dots \\ \vartheta_n \\ \vartheta_n' \end{pmatrix} \quad (70)$$

или

$$AX + L = V. \quad (71)$$

На основе уравнений поправок (71) составляют нормальные уравнения и решением системы уравнений (71) будет

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L = \begin{pmatrix} \delta X_s \\ \delta Y_s \\ \delta Z_s \\ \delta \alpha \\ \delta \omega \\ \delta \chi \end{pmatrix}. \quad (72)$$

Как отмечено выше, для определения элементов внешнего ориентирования аэроснимка необходимо иметь не менее трех опорных точек на снимок. Обеспечение каждого аэроснимка опорными точками – процесс трудоемкий и дорогостоящий.

### **Определение элементов ориентирования по показаниям вспомогательных приборов**

В настоящее время аэросъемка обслуживается специальными приборами, которые устанавливаются на борту самолета и позволяют получить элементы ориентирования снимков. Эти элементы определяют, как правило, в той же системе координат, в которой необходимо отразить заснятый объект. Так как эти элементы определены в геодезической системе координат, представляется возможным сократить геодезическое обоснование или вообще отказаться от него. Кроме того, эти элементы определяют независимо друг от друга, и их использование позволяет ограничить накопление ошибок или устранить их вообще в пределах точности, с которой определяют элементы ориентирования.

Рассмотрим вспомогательные приборы, обслуживающие аэросъемку, и определение элементов ориентирования по их показаниям.

### *Допплеровское оборудование*

Работа этого оборудования основана на эффекте Доплера. Если с движущегося объекта посылать радиоимпульсы определенной частоты, то отразившись от неподвижного объекта (Земля), они вернутся с измененной частотой волны. По разности частот определяют расстояние. В аэросъемке доплеровское оборудование применяют для определения длины базиса фотографирования. В фотограмметрии показания доплеровского оборудования почти не применяют из-за низкой точности.

### *Радиогеодезические станции*

По показаниям радиогеодезических станций можно определить расстояния до наземных станций и плановые координаты центров фотографирования  $X_s, Y_s, Z_s$ . В настоящее время в СНГ используют радиогеодезическую систему РДС (самолетный радиодальномер). Точность измерения плановых координат центров фотографирования 2,5 м.

### *Гиросtabilизирующая установка*

Она исключает влияние продольных и поперечных угловых движений аэрофотоаппарата, возникающих из-за неустойчивости самолета. Гиросtabilизирующая установка позволяет или стабилизировать камеру в момент фотографирования, чтобы ее ось занимала отвесное положение, или определять углы наклона аэрофотоаппарата специальным устройством. Гиросtabilизирующие устройства выгодно использовать в режиме стабилизации, так как в этом случае упрощаются методы и приборы фотограмметрической обработки. В СНГ в настоящее время используют гиросtabilизирующую установку ГУТ, которая работает в режиме стабилизации. Точность стабилизации 15'. Аэросъемка без использования гиросtabilизирующей установки в настоящее время практически не выполняется.

### *Определение угловых элементов внешнего ориентирования*

Угловые элементы внешнего ориентирования можно получить по снимкам горизонта, солнца и звезд дополнительными камерами, работающими синхронно с аэрофотоаппаратом.

По данным камеры для съемки горизонта можно получить продольный  $\alpha$  и поперечный  $\omega$  углы наклона аэроснимка. Для этого одновременно с земной поверхностью необходимо снимать горизонт дополнительной фотокамерой, жестко связанной с основной. Оптическая ось этой камеры перпендикулярна оптической оси основной камеры и направлена вдоль маршрута.

Если бы основная камера не имела углов наклона при съемке, то горизонт совпал бы с линией, проходящей через главную точку  $O$  и координатные метки камеры для съемки горизонта, как показано на рис. 27.

Если основная камера имела в момент фотографирования угол  $\omega$ , отличный от нуля, то линия горизонта не совпадает с линией, соединяющей противоположные координатные метки, но обязательно пройдет через главную точку снимка (рис. 28).

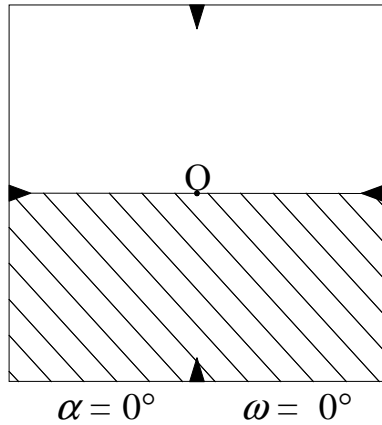


Рис. 27

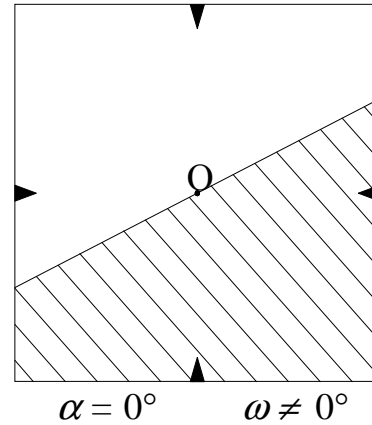


Рис. 28

При наличии продольного и поперечного углов наклона линия горизонта не пройдет через противоположные координатные метки и не совпадет с главной точкой снимка (рис. 29).

На основании рис. 29 можно написать формулы для определения углов наклона

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{oo'}{f}; \operatorname{tg} \omega = \frac{l_2 - l_1}{d}.$$

Несмотря на кажущуюся простоту способ не нашел широкого применения из-за того, что линия горизонта неявно очерчена и углы наклона снимка с удовлетворительной точностью можно подучить только в степной местности. Кроме того, угол  $\alpha$  сильно искажен рефракцией приземного слоя атмосферы.

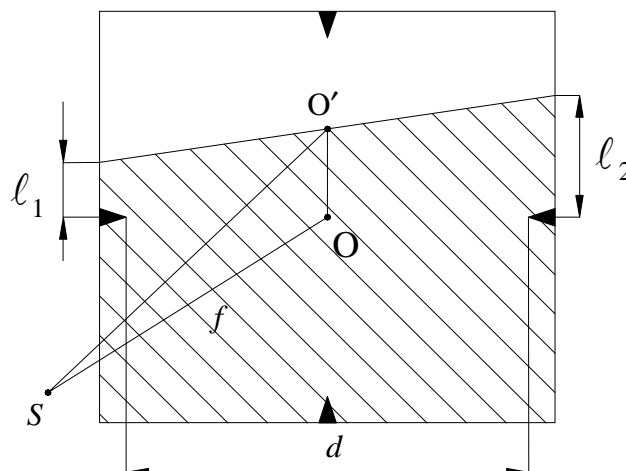


Рис. 29

Солнечный перископ дает приемлемые данные только при малых широтах и в нашей стране не применяется.

Угловые элементы внешнего ориентирования аэроснимка с высокой точностью можно получить по снимкам звезд. Звезды фотографируют дополнительной камерой, жестко связанной с основной фотокамерой. По измеренным координатам опознанных звезд, изобразившихся на звездном снимке, можно найти углы наклона и поворота аэроснимка. В этом случае находят матрицу  $A$  элементов внешнего ориентирования аэроснимка по формуле

$$A_i = A' \cdot A_{3Bi},$$

где  $A'$  – матрица взаимного ориентирования звездной и топографической камер, определяется при калибровке;

$A_{3Bi}$  – матрица элементов внешнего ориентирования звездной камеры, определяется по измеренным координатам изобразившихся звезд.

Значения углов  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\chi$  определяют по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{a_3}{c_3}; \sin \omega = -b_3; \operatorname{tg} \chi = \frac{b_1}{b_2},$$

где  $a_i, b_i, c_i$  – направляющие косинусы, являющиеся элементами матрицы  $A_{3Bi}$ .

### Статоскоп

Статоскоп позволяет определить превышения каждого центра фотографирования относительно единой изобарической поверхности, проходящей через точку, в которой статоскоп был включен в работу. Он представляет собой специализированный барометр. Основные части статоскопа показаны на рис. 30.

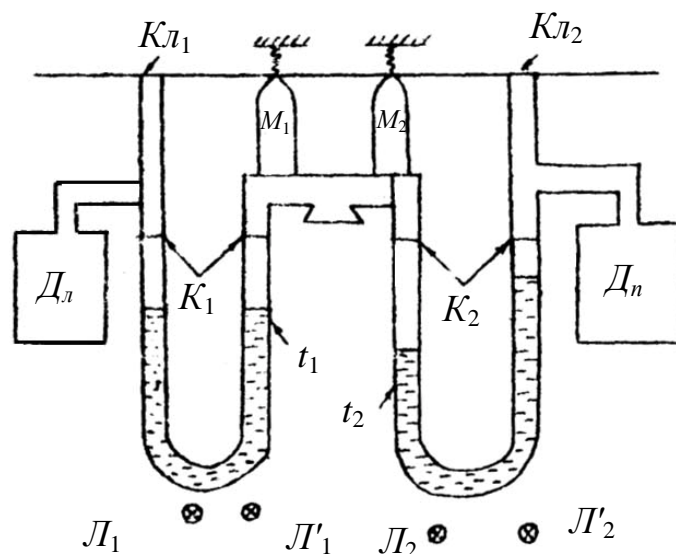


Рис. 30

Статоскоп состоит из двух манометрических трубок  $t_1$  и  $t_2$  и двух магнитов  $M_1$  и  $M_2$ , которые управляют работой клапанов  $K_{л1}$  и  $K_{л2}$ . Датчиками для включения одного или другого магнита служат контакты  $K_1$  и  $K_2$ . Манометрические трубки  $t_1$  и  $t_2$  одним концом соединены с сосудами  $D_n$  и  $D_n$ , другие концы сообщаются с трубкой, выведенной вне самолета. Оба конца манометрических трубок залиты особой жидкостью. Снизу каждое колено подсвечивается лампочками  $L_1, L'_1, L_2$  и  $L'_2$ , причем лампы  $L_1$  и  $L_2$  светят непрерывно, а  $L'_1$  и  $L'_2$  включаются в момент экспонирования. Свет, отражаясь от верхней поверхности жидкости, создает блики, которые фотографируют на медленнодвигающуюся перед манометрическими трубками фотопленку.

При включении статоскопа в работу с помощью магнита, например,  $M_2$ , закрывается клапан  $K_{л2}$ . В этом случае давление в одном колене манометрической трубки будет постоянным и равным давлению в сосуде  $D_n$ , а в другом колене будет меняться с изменением высоты полета, поэтому жидкость в манометрической трубке  $t_2$  будет изменять свой уровень до тех пор, пока не коснется какого-либо контакта  $K_2$ . В это время магнит  $M_1$  закрывает клапан  $K_{л1}$ , а магнит  $M_2$  откроет клапан  $K_{л2}$ . В работу вступает первое колено статоскопа. На статограмме будет наблюдаться картина, показанная на рис. 31.

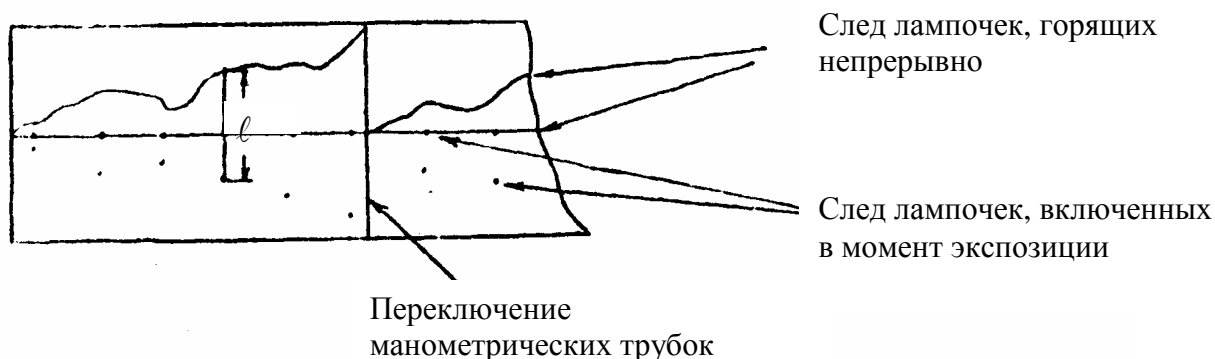


Рис. 31

Полученную статограмму необходимо расшифровать, т.е. определить, какая точка статограммы какому снимку соответствует.

Расстояние  $\ell$  между точкой и кривой на статограмме характеризует высоту центров фотографирования  $\Delta H$  относительно изобарической поверхности, ее можно вычислить по формуле

$$\Delta H = \ell Q,$$

где  $Q$  – барометрическая ступень, выражающая, сколько метров высоты фотографирования содержится в длине отрезка  $\ell$ .

По показаниям статоскопа можно определить превышения  $B_Z$  между центрами фотографирования

$$B_Z = \Delta H_i - \Delta H_{i-1}.$$

Точность показаний статоскопа в значительной степени зависит от метеорологических условий и высоты полета.

### Радиовысотомер

Радиовысотомер и лазерные высотомеры позволяют получить расстояния от главной точки или точки надира местности до центра фотографирования. В нашей стране применяют радиовысотомер РВТД-А, который позволяет определить расстояние от центра фотографирования до ближайшей точки местности.

Радиовысотомер имеет генератор радиоимпульсов. В момент экспозиции радиовысотомер излучает радиоимпульсы в сторону земной поверхности, которые, отражаясь, возвращаются к самолету и принимаются приемным устройством. Время прохождения импульсов до земли и обратно фиксируется и переводится в деления шкалы, отградуированной в метрах. Шкала радиовысотомера фиксируется на фотопленку (рис. 32).

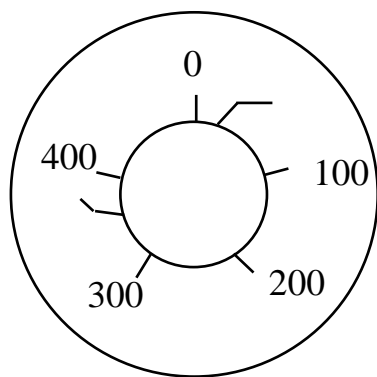


Рис. 32

На рис. 32 в момент излучения импульса показан всплеск, такой же всплеск фиксируется на фотопленке при возвращении импульса.

Радиовысотомер РВТД-А измеряет не высоту самолета над главной точкой или точкой надира, а расстояние до ближайшей точки местности, поэтому показания радиовысотомера необходимо исправить. Для введения поправок в показания радиовысотомера используют специальные сферические марки и стереофотограмметрический прибор.

Рассмотрим определения высоты фотографирования по измеренным на стереометре разностям продольных параллаксов  $\Delta P$ .

Рассматривая модель местности, стереоскопически находят самую высокую точку  $A$  (рис. 33) и измеряют разность продольных параллаксов  $\Delta P$  между этой точкой и главной  $O$  или точкой надира  $N$ .

По измеренной разности продольных параллаксов вычисляют превышение  $h$  между самой высокой точкой модели и главной по формуле

$$h = \frac{\Delta PD}{b},$$

где  $b$  – базис фотографирования в масштабе снимка, измеряется на стереометре;  $D$  – расстояние  $SA$ , полученное по показаниям радиовысотомера.

Для определения высоты фотографирования  $H$  необходимо знать длину отрезка  $SA' = D \cos \beta$ . Угол  $\beta$  можно найти из прямоугольного треугольника  $Soa$  (см. рис. 33):

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{oa}{f}.$$

Отрезок  $oa$  измеряют на аэроснимке.

Высота фотографирования будет получена на основании выражения

$$H = D \cos \beta + \frac{\Delta P}{b} D.$$

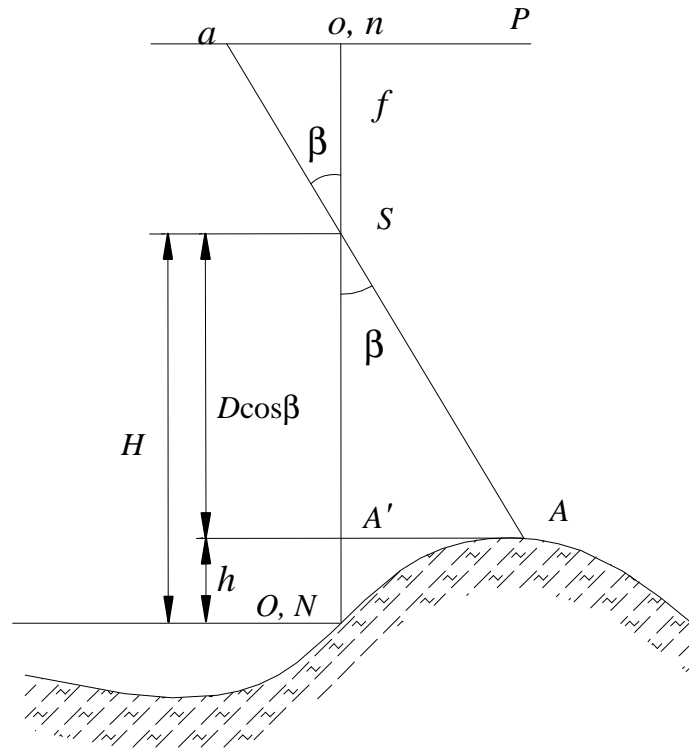


Рис. 33

### *Аэрорадионивелирование*

Показания статоскопа и радиовысотомера позволяют производить аэрорадионивелирование, в результате которого можно определить превышения точек местности.

На рис. 34  $H_i$  – высоты фотографирования, полученные по показаниям радиовысотомера;  $\Delta H_i$  – превышения центров фотографирования относительно изобарической поверхности, полученные по показаниям статоскопа.

Найдем высоту изобарической поверхности относительно точек местности

$$\begin{aligned} U_1 &= H_1 - \Delta H_1 \\ U_2 &= H_2 - \Delta H_2 \\ &\dots\dots\dots \\ U_n &= H_n - \Delta H_n \end{aligned} \tag{73}$$

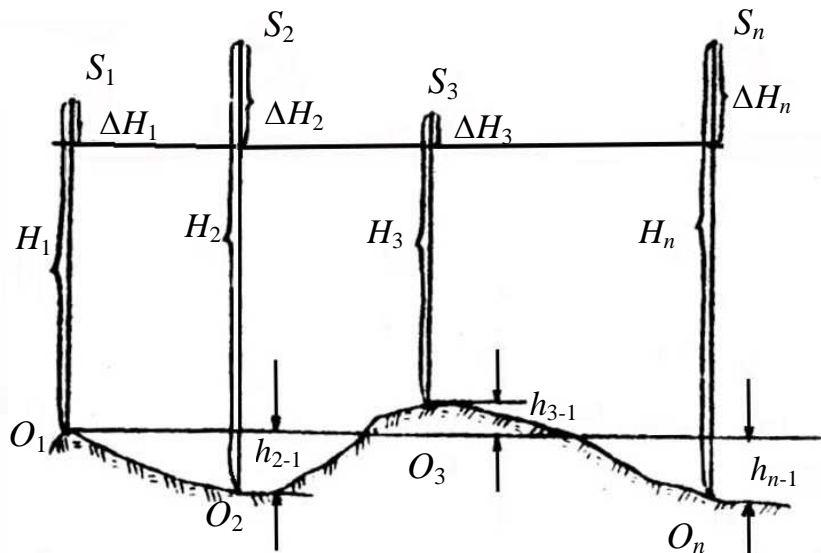


Рис. 34

Тогда превышения между точками местности

$$\begin{aligned}
 h_{2-1} &= U_1 - U_2 \\
 h_{3-1} &= U_1 - U_3 \\
 &\dots\dots\dots \\
 h_{n-1} &= U_1 - U_n
 \end{aligned}
 \tag{74}$$

### Использование спутниковых систем для определения координат центров фотографирования

В настоящее время для определения координат центров фотографирования  $X_s, Y_s, Z_s$  применяют спутниковую систему, имеющую аббревиатуру GPS (Global Positioning System). Второе ее название NAVSTAR.

Комплекс GPS состоит из более 30 спутников, летающих на высоте примерно 20000 км, которые делают два оборота вокруг Земли в течение суток.

Контрольные станции, расположенные на Земле, корректируют местоположение спутников при их отклонении от орбиты. Координаты спутников известны с высокой точностью и, пользуясь ими как опорными точками, обеспечивается пеленгация GPS-приемников. GPS-приемники устанавливают на фюзеляже самолета как можно точнее над аэрофотоаппаратом.

Спутники излучают радиоволны, которые принимаются приемниками. Кроме того, приемники синхронно со спутниками генерируют собственные волны, такие же, какие отправлены со спутников. Принятая волна сравнивается с генерированной приемником и измеряется время запаздывания волны  $\Delta t$  от спутника (рис. 35).



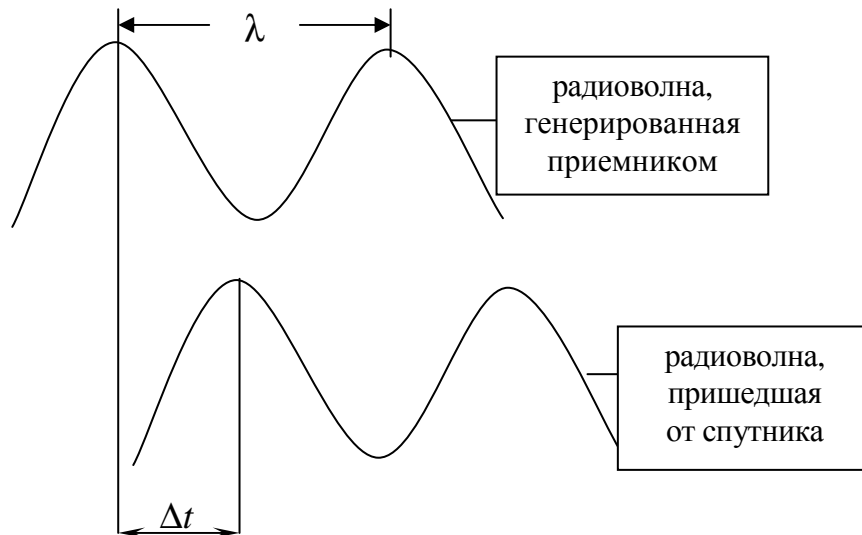


Рис. 35

По известной длине волны  $\lambda$  (19 см) и скорости распространения радиоволн  $C$  ( $\sim 300000$  км/с) определяется расстояние  $S$  по формуле

$$S = C\Delta t + N\lambda, \quad (75)$$

где  $N$  – число целых длин волн, которые прошли за время между подачей сигнала и его приемом.

По известным координатам спутников и измеренным расстояниям вычисляют координаты приемника и, следовательно, координаты центров фотографирования  $X_s, Y_s, Z_s$  по формулам обратной пространственной засечки (рис. 36).

Число отнаблюденных спутников должно быть не менее четырех, что позволит определить искомые координаты с одновременной корректировкой часов GPS.

Если используется один приемник, то точность невелика. Для получения высокой точности должно использоваться минимум два приемника. Один – на самолете, второй – на точке земли с известными координатами.

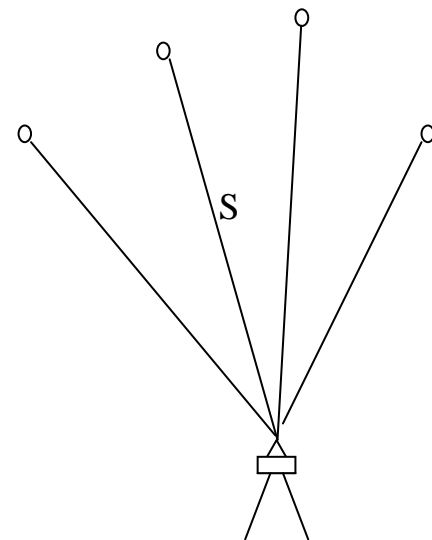


Рис. 36

### Взаимное ориентирование снимков

В стереофотограмметрии при измерениях имеют дело со стереопарами снимков. Элементами ориентирования, которые позволяют определить положение снимков в момент фотографирования, будут

$$X_{Sl}, Y_{Sl}, Z_{Sl}, \alpha_l, \omega_l, \chi_l,$$

$$X_{Sn}, Y_{Sn}, Z_{Sn}, \alpha_n, \omega_n, \chi_n.$$



Первые шесть величин выражают элементы внешнего ориентирования левого снимка,  $B_x$  определяет размер базиса фотографирования. Эти семь величин носят название элементов внешнего ориентирования пары снимков или модели. Остальные пять величин носят название элементов взаимного ориентирования.

Элементы взаимного ориентирования определяются только по внутренним связям, существующим между координатами общих точек стереопары.

### Элементы взаимного ориентирования

Взаимное ориентирование пары снимков, т.е. установка их в то положение, в котором они находились относительно друг друга в момент фотографирования, может быть выполнено двумя способами:

- 1) угловыми движениями обоих снимков при неподвижном положении базиса фотографирования;
- 2) движениями только одного снимка, например, правого, при неподвижном положении левого.

В соответствии с этим различают две системы элементов взаимного ориентирования снимков:

- 1) в базисной системе координат;
- 2) в системе координат левого снимка.

В базисной системе координат (рис. 38) начало совмещено с левым центром фотографирования  $S_l$ , ось  $X$  – с базисом фотографирования  $B$ , ось  $Y$  перпендикулярна к плоскости  $S_l O_l S_n$ , ось  $Z$  перпендикулярна к плоскости  $X Y$ .

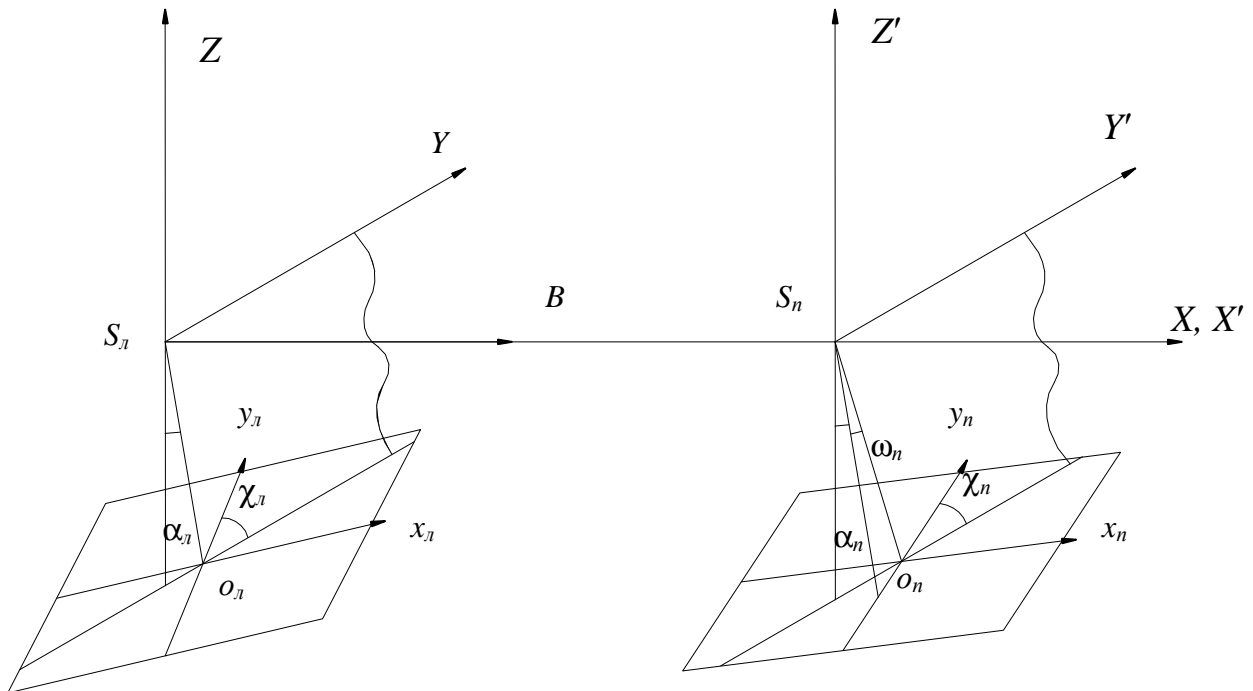


Рис. 38

Элементами взаимного ориентирования в этой системе координат являются:

$\alpha_l$  – угол между осью  $Z$  и главным лучом левой связки  $S_l O_l$ ;

$\chi_l$  – угол на левом аэроснимке между осью  $y_l$  снимка и следом плоскости  $S_l O_l Y$ ;

$\alpha_n$  – угол между осью  $Z'$  и проекцией главного луча правой связки на плоскость  $X'Z'$ ;

$\omega_n$  – угол между проекцией главного луча правой связки на плоскость  $X'Z'$  и главным лучом;  $\chi_n$  – угол на правом аэроснимке между осью  $y_n$  и следом плоскости  $Y' S_n O_n$ .

Во второй системе координат (рис. 39) за начало принимается центр фотографирования левого снимка  $S_l$ , координатные оси  $X, Y$  направлены параллельно координатным осям левого снимка, ось  $Z$  в этом случае совпадает с главным лучом левой связки  $S_l O_l$ .

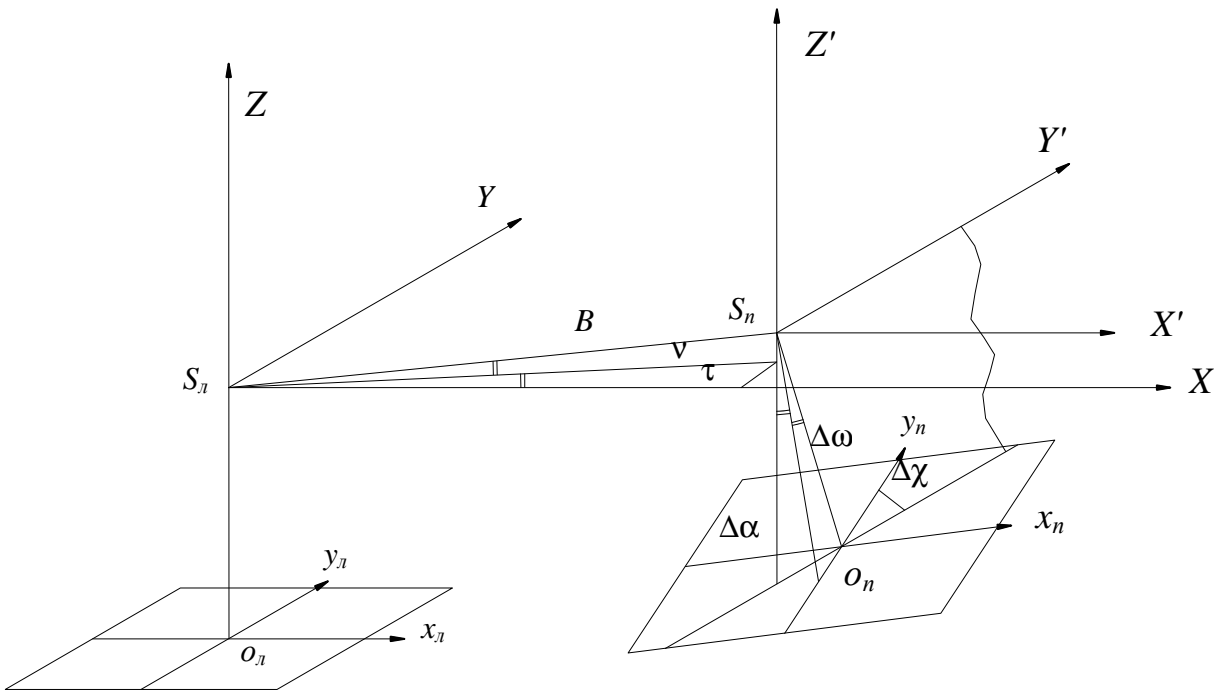


Рис. 39

Элементами взаимного ориентирования являются:

$\tau$  – угол между осью  $X$  и проекцией базиса фотографирования  $B$  на плоскость  $XY$ , т.е. угол поворота базиса;

$\nu$  – угол между базисом фотографирования  $B$  и его проекцией на плоскость  $XY$ , т.е. угол наклона базиса;

$\Delta\alpha$  – угол между осью  $Z'$  и проекцией главного луча правой связки  $S_n O_n$  на плоскость  $X'Z'$ , т.е. взаимный продольный угол наклона;

$\Delta\omega$  – угол между главным лучом правой связки и его проекцией на плоскость  $X'Z'$ , т.е. взаимный поперечный угол наклона;

$\Delta\chi$  – угол на правом аэроснимке между осью  $y_n$  и следом плоскости  $Y'S_nO_n$ , т.е. взаимный угол поворота снимков.

### Условие взаимного ориентирования

Если стереопара аэроснимков взаимно сориентирована (рис. 40), то любая пара одноименных проектирующих лучей, например,  $S_lM$  и  $S_nM$ , должна пересекаться.

Обозначим проектирующий луч  $S_lM$  вектором  $\bar{R}$ ;  $S_nM$  –  $\bar{R}'$ , а базис проектирования  $S_lS_n$  – вектором  $\bar{B}$ .

Критерий взаимного ориентирования можно выразить условием компланарности трех векторов,  $\bar{R}$ ,  $\bar{R}'$  и  $\bar{B}$ , т.е.

$$\bar{B}(\bar{R} \cdot \bar{R}') = 0. \quad (76)$$

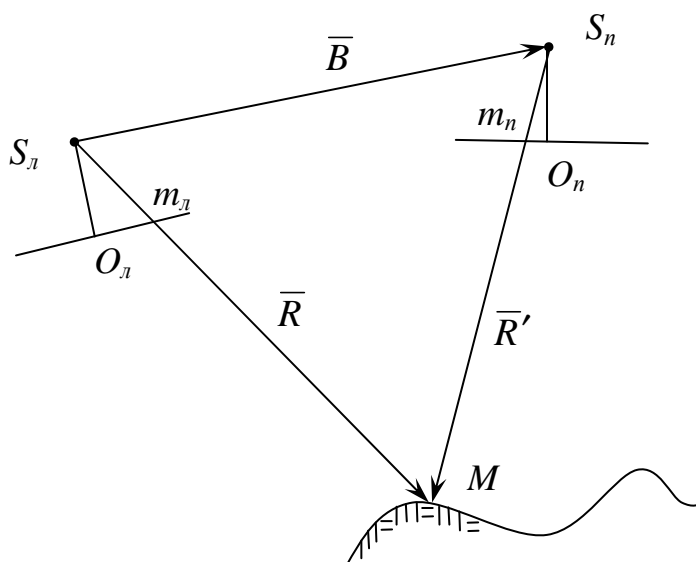


Рис. 40

В координатной форме это произведение можно записать следующим образом:

$$\begin{vmatrix} X_B & Y_B & Z_B \\ X_R & Y_R & Z_R \\ X_{R'} & Y_{R'} & Z_{R'} \end{vmatrix} = 0 \quad (77)$$

где  $X_B, X_R, X_{R'}$  – проекции векторов  $\bar{B}$ ,  $\bar{R}$  и  $\bar{R}'$  на ось  $X$  в заданной системе координат;

$Y_B, Y_R, Y_{R'}$  – проекции векторов  $\bar{B}$ ,  $\bar{R}$  и  $\bar{R}'$  на ось  $Y$ ;

$Z_B, Z_R, Z_{R'}$  – проекции векторов  $\bar{B}$ ,  $\bar{R}$  и  $\bar{R}'$  на ось  $Z$ ;

## Уравнения взаимного ориентирования

Вид уравнений взаимного ориентирования зависит от принятой системы элементов ориентирования.

Условием пересечения одноименных проектирующих лучей для базисной системы координат, согласно выражению (77), будет

$$\begin{vmatrix} B & 0 & 0 \\ X_R & Y_R & Z_R \\ X_{R'} & Y_{R'} & Z_{R'} \end{vmatrix} = 0 \quad (78)$$

или

$$B(Y_R Z_{R'} - Z_R Y_{R'}) = 0. \quad (79)$$

Поделим обе части выражения (79) на  $B$ :

$$(Y_R Z_{R'} - Z_R Y_{R'}) = 0. \quad (80)$$

Перейдем от пространственных координат  $Y_R, Z_{R'}, Z_R, Y_{R'}$  к координатам точек, измеренным на снимках:

$$\begin{aligned} Y_R &= b_1 x_l + b_2 y_l - b_3 f; & Y_{R'} &= b'_1 x_n + b'_2 y_n - b'_3 f; \\ Z_R &= c_1 x_l + c_2 y_l - c_3 f; & Z_{R'} &= c'_1 x_n + c'_2 y_n - c'_3 f, \end{aligned} \quad (81)$$

где  $x_l, y_l, x_n, y_n$  – координаты точек на левом и правом снимках стереопары;  $b_i, b'_i, c_i, c'_i$  – направляющие косинусы, связанные с элементами взаимного ориентирования в базисной системе координат.

Чтобы записать выражение (80) через измеренные по снимкам величины, необходимо подставить в него вместо  $Y_R, Z_R, Y_{R'}, Z_{R'}$  их значения из выражения (81). Для определения элементов взаимного ориентирования необходимо составить минимум пять уравнений вида (80), для чего надо измерить координаты, по крайней мере, пяти точек стереопары. Если измерены координаты избыточных точек, то уравнения решают по способу наименьших квадратов. Система уравнений вида (80) с сохранением всех членов получается очень сложной, трудоемкой и решается при использовании ЭВМ.

Часто достаточно знать уравнения взаимного ориентирования с учетом только величин первого порядка малости.

Направляющие косинусы с учетом членов первого порядка малости на основании зависимостей (17) имеют вид

$$\begin{aligned} a_1 &= 1, & b_1 &= \chi, & c_1 &= \alpha; \\ a_2 &= -\chi, & b_2 &= 1, & c_2 &= \omega; \\ a_3 &= -\alpha, & b_3 &= -\omega, & c_3 &= 1. \end{aligned} \quad (82)$$

Тогда равенства (81) примут вид

$$\begin{aligned} Y_R &= \chi_l x_l + y_l; & Y_{R'} &= \chi_n x_n + y_n + \omega_n f; \\ Z_R &= \alpha_l x_l - f; & Z_{R'} &= \alpha_n x_n + y_n \omega_n - f. \end{aligned} \quad (83)$$

Подставим полученные значения пространственных координат  $Y_R, Z_{R'}, Z_R, Y_{R'}$  в уравнение (80) и получим

$$(\chi_l x_l + y_l)(\alpha_n x_n + y_n \omega_n - f) - (\chi_n x_n + y_n + \omega_n f)(\alpha_l x_l - f) = 0 \quad (84)$$

Раскроем скобки, причем перемножение выполним с учетом величин только первого порядка малости:

$$y_l x_n \alpha_n + y_n y_l \omega_n - x_l f \chi_l - f y_l - y_n x_l \alpha_l + f x_n \chi_n + y_n f + f^2 \omega_n = 0. \quad (85)$$

Поделим обе части равенства (85) на  $(-f)$  и перегруппируем члены, получим уравнение взаимного ориентирования в базисной системе координат

$$\frac{y_n x_l}{f} \alpha_l - \frac{y_l x_n}{f} \alpha_n - \left( f + \frac{y_n y_l}{f} \right) \omega_n + x_l \chi_l - x_n \chi_n + (y_l - y_n) = 0, \quad (86)$$

где  $(y_l - y_n) = q$ .

Основной трудностью при определении элементов взаимного ориентирования является необходимость совместного решения системы уравнений (86). Решение значительно упрощается, если точки для измерения координат и поперечных параллаксов выбрать стандартными (рис. 41).

Для плановых аэроснимков и плоскоравнинного рельефа можно принять

$$\begin{aligned} x_l - x_n &= b; & y_l &= y_n; \\ x_{l(1,3,5)} &= 0; & x_{l(2,4,6)} &= b; \\ x_{n(1,3,5)} &= -b; & x_{n(2,4,6)} &= 0; \\ y_{l(1,2)} &= y_{n(1,2)} = 0; & y_{l(3,4)} &= y_{n(3,4)} = y; \\ y_{l(5,6)} &= y_{n(5,6)} = -y. \end{aligned}$$

Тогда уравнение взаимного ориентирования для точек 1, 2, 3, 4, 5 и 6 будет иметь вид:

$$\text{т. 3: } \frac{yb}{f} \alpha_n - \left( f + \frac{y^2}{f} \right) \omega_n + b \chi_n + q_3 = 0,$$

$$\text{т. 5: } -\frac{yb}{f} \alpha_n - \left( f + \frac{y^2}{f} \right) \omega_n + b \chi_n + q_5 = 0,$$

$$\text{т. 1: } -f \omega_n + b \chi_n + q_1 = 0,$$

$$\text{т. 4: } \frac{yb}{f} \alpha_l - \left( f + \frac{y^2}{f} \right) \omega_n + b \chi_l + q_4 = 0,$$

$$\text{т. 6: } -\frac{yb}{f}\alpha_n - \left(f + \frac{y^2}{f}\right)\omega_n + b\chi_n + q_6 = 0,$$

$$\text{т. 2: } -f\omega_n + b\chi_n + q_2 = 0.$$

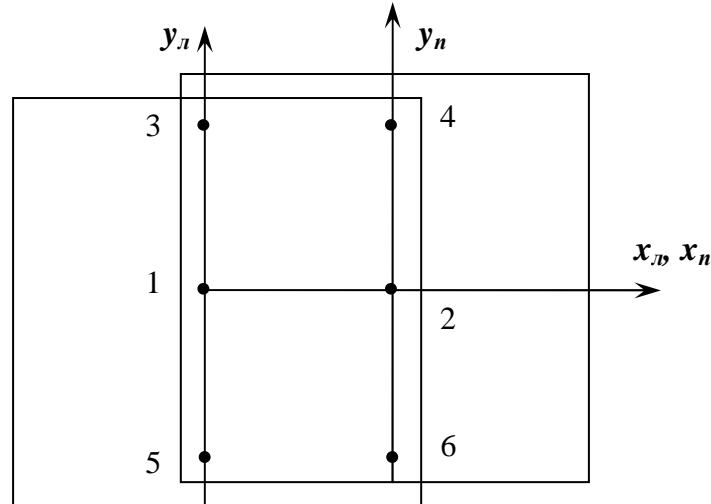


Рис. 41

Вычтем из уравнения для точки 3 уравнение для точки 5.

$$\frac{2yb}{f}\alpha_n = q_5 - q_3. \quad (87)$$

Решим равенство (87) относительно  $\alpha_n$ .

$$\alpha_n = \frac{f}{2yb}(q_5 - q_3). \quad (88)$$

Из уравнения для точки 4 вычтем уравнение для точки 6 и полученное равенство решим относительно  $\alpha_n$ .

$$\alpha_n = \frac{f}{2yb}(q_6 - q_4). \quad (89)$$

К уравнению для точки 3 прибавим уравнение для точки 5 и вычтем два уравнения для точки 1. Отсюда

$$\omega'_n = \frac{f}{2y^2}(q_3 + q_5 - 2q_1). \quad (90)$$

К уравнению для точки 4 прибавим уравнение для точки 6 и вычтем два уравнения для точки 2, решим полученное равенство относительно

$$\omega''_n = \frac{f}{2y^2}(q_4 + q_6 - 2q_2). \quad (91)$$

Неизвестное  $\omega_n$  найдено дважды. По расхождению полученных значений  $(\omega'_n - \omega''_n) = \delta\omega_n$  судят о точности результата. В обработку принимают среднее значение



$$\frac{(\omega'_n + \omega''_n)}{2} = \delta\omega_{n(cp.)}. \quad (92)$$

Имея в виду то, что  $\omega_n$  известно, подставим его значения в уравнения для точек 1 и 2 и решим их относительно  $\chi_n$  и  $\chi_l$ :

$$\chi_l = \frac{f\omega_n - q_2}{b}; \quad (93)$$

$$\chi_n = \frac{f\omega_n - q_1}{b}. \quad (94)$$

### Уравнение взаимного ориентирования для системы координат левого снимка

Уравнение взаимного ориентирования в координатной форме для системы координат левого снимка можно записать на основе уравнения (77) и рис. 39. Оно будет иметь вид

$$\begin{vmatrix} B_X & B_Y & B_Z \\ x_l & y_l & -f \\ X_{R'} & Y_{R'} & Z_{R'} \end{vmatrix} = 0 \quad (95)$$

$$\text{или } B_X(y_l Z_{R'} + f Y_{R'}) - B_Y(f X_{R'} + x_l Z_{R'}) + B_Z(x_l Y_{R'} - y_l X_{R'}) = 0. \quad (96)$$

На основании рис. 42  $B_x, B_y, B_z$  можно выразить следующими формулами:

$$\begin{aligned} B_X &= B \cos v \cos \tau; \\ B_Y &= B \cos v \sin \tau; \\ B_Z &= B \sin v. \end{aligned} \quad (97)$$

Так как величины  $v$  и  $\tau$  небольшие, то вместо формул (97) можно использовать формулы с учетом только членов первого порядка малости, которые будут иметь вид

$$\begin{aligned} B_X &= B; \\ B_Y &= B\tau; \\ B_Z &= Bv. \end{aligned} \quad (98)$$

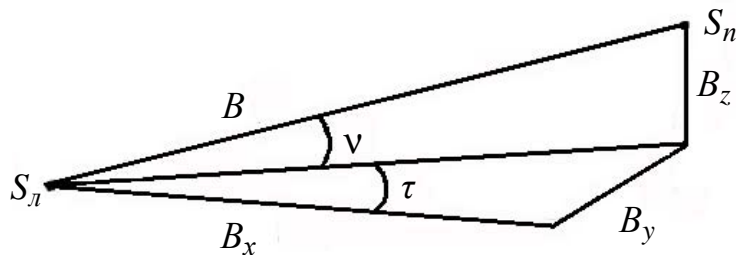


Рис. 42

Пространственные фотограмметрические координаты точек  $X_{R'}, Y_{R'}, Z_{R'}$  связаны с координатами точек правого снимка  $x_n, y_n$  следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} X_{R'} &= a'_1 x_n + a'_2 y_n - a'_3 f; \\ Y_{R'} &= b'_1 x_n + b'_2 y_n - b'_3 f; \\ Z_{R'} &= c'_1 x_n + c'_2 y_n - c'_3 f. \end{aligned} \quad (99)$$

где  $a'_i, b'_i, c'_i$  – направляющие косинусы, которые можно найти в соответствии с равенствами (82) и которые зависят от углов  $\Delta\alpha, \Delta\omega, \Delta\chi$ .

Подставим значения  $B_X, B_Y, B_Z, X_{R'}, Y_{R'}, Z_{R'}$  из формул (98) и (99) в уравнение (96), получим

$$\begin{aligned} & B \left[ y_l (x_n \Delta\alpha + y_n \Delta\omega - f) + f (x_n \Delta\chi + y_n + f \Delta\omega) \right] - \\ & - B\tau \left[ f (x_n - y_n \Delta\chi + f \Delta\alpha) + x_l (x_n \Delta\alpha + y_n \Delta\omega - f) \right] + \\ & + B\nu \left[ x_l (x_n \Delta\chi + y_n + f \Delta\omega) - y_l (x_n - y_n \Delta\chi + f \Delta\alpha) \right] = 0 \end{aligned} \quad (100)$$

Поделим обе части выражения (100) на  $B$  и раскроем круглые скобки

$$\begin{aligned} & \left[ y_l x_n \Delta\alpha + y_l y_n \Delta\omega - y_l f + f x_n \Delta\chi + f y_n + f^2 \Delta\omega \right] - \\ & - \tau \left[ f x_n - f y_n \Delta\chi + f^2 \Delta\alpha + x_l x_n \Delta\alpha + x_l y_n \Delta\omega - x_l f \right] + \\ & + \nu \left[ x_l x_n \Delta\chi + x_l y_n + x_l f \Delta\omega - y_l x_n + y_l y_n \Delta\chi - y_l f \Delta\alpha \right] = 0. \end{aligned} \quad (101)$$

Поделим обе части уравнения (101) на  $f$  и при умножении учтем только величины первого порядка малости

$$\frac{y_l x_n}{f} \Delta\alpha + \frac{y_l y_n}{f} \Delta\omega - y_l + x_n \Delta\chi + y_n + f \Delta\omega - x_n \tau + x_l \tau + \frac{x_l y_n}{f} \nu - \frac{y_l x_n}{f} \nu = 0$$

или

$$\frac{y_l x_n}{f} \Delta\alpha + \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \Delta\omega + x_n \Delta\chi + (x_l - x_n) \tau + \left( \frac{x_l y_n}{f} - \frac{y_l x_n}{f} \right) \nu - (y_l - y_n) = 0 \quad (102)$$

В уравнении (102)

$$(y_l - y_n) = q$$

$$(x_l - x_n) \tau = b\tau = b_y$$

$$\left( \frac{x_l y_n}{f} - \frac{y_l x_n}{f} \right) \nu = \left( \frac{x_l y_n - y_l x_n}{f} \right) \nu = \frac{y_l (x_l - x_n)}{f} \nu = \frac{y_l b\nu}{f} = \frac{y_l b_z}{f}$$

т.к. для плановых снимков можно принять  $y_l = y_n$ .

Тогда уравнение взаимного ориентирования будет иметь вид

$$\frac{y_l x_n}{f} \Delta\alpha + \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \Delta\omega + x_n \Delta\chi + b_y + \frac{y_l}{f} b_z - q = 0. \quad (103)$$

## Стереокompatор

Как видно на основании уравнений (86), (103), для того чтобы определить элементы взаимного ориентирования снимков, необходимо знать координаты точек на аэроснимках и поперечные параллаксы. Все эти величины можно измерить на стереокompatаторе (рис. 43).

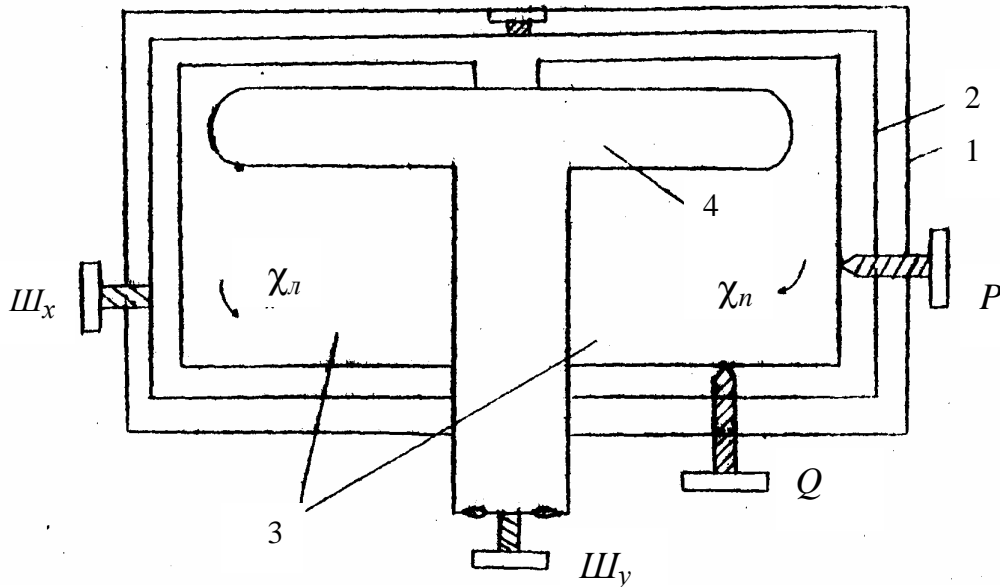


Рис. 43

Основные части прибора: станина 1, общая каретка 2, левая и правая каретки снимков 3, наблюдательная система 4.

Общая каретка 2 перемещается при помощи штурвала  $Ш_x$ , вдоль оси  $X$  прибора. Левая и правая каретки снимков 3 могут поворачиваться в своей плоскости на углы  $\chi$ . Правая каретка снимка имеет дополнительное перемещение вдоль оси  $X$  прибора при помощи винта продольных параллаксов  $P$  и вдоль оси  $Y$  – при помощи винта поперечных параллаксов  $Q$ . Наблюдательная система 4 перемещается вдоль ось  $Y$  прибора при помощи штурвала  $Ш_y$ . Величины перемещений можно отсчитать по соответствующим шкалам, эти перемещения служат для измерения координат и параллаксов точек снимков.

В наблюдательной системе имеются две измерительные марки: одна в правой, другая в левой ветви, т.е. измерение построенной модели осуществляется по принципу мнимой марки.

Негативы или диапозитивы устанавливают на каретки снимков стереокompatатора таким образом, чтобы главная точка снимка совместилась с центром вращения каретки снимков. Для этого тщательно совмещают координатные метки диапозитива или негатива с рисками на прикладной рамке каретки снимка (рис. 44).

Затем снимки ориентируют либо по начальным направлениям, либо по координатным меткам в зависимости от назначения измерений.

При ориентировании снимков по начальным направлениям устраняют поперечный параллакс, наблюдаемый на главной точке левого снимка, вращением правого снимка и, наоборот, поперечный параллакс, наблюдаемый на главной точке правого снимка, устраняют, вращая левый снимок.

При ориентировании снимков по координатным меткам поворачивают каретки снимков так, чтобы координатные метки  $xx$  или  $yy$  были параллельны соответствующим осям прибора. Для этого измерительную марку наводят на нижнюю (верхнюю) координатную метку (рис. 45) движением штурвалов  $Ш_x$  и  $Ш_y$ , затем движением штурвала  $Ш_y$  перемещают измерительную марку к верхней (нижней) координатной метке.

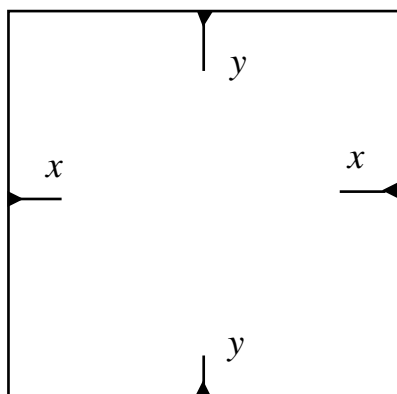


Рис. 44

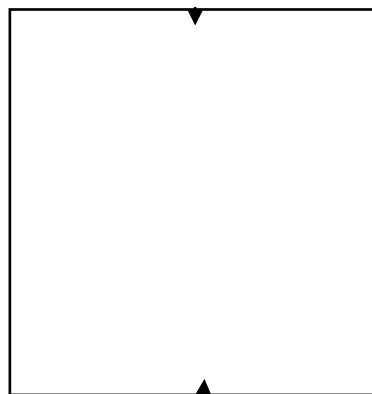


Рис. 45

Если марка не совместилась с координатной меткой, то вращением винта  $\chi$  поворачивают кассету на половину отклонения. Окончательно совмещают марку с координатной меткой вращением штурвала  $Ш_x$ . Эти действия повторяют до тех пор, пока измерительная марка при перемещении наблюдательной системы штурвалом  $Ш_y$  будет проходить нижнюю и верхнюю координатные метки. Снимки ориентируют монокулярно, т.е. независимо – левый и правый.

При ориентировании снимков по координатным меткам легко перейти из системы координат стереокомпаратора  $X, Y$  в систему координат снимка  $x, y$  (рис. 46).

Для перехода к системе координат снимка необходимо знать места нулей ( $MO$ ) шкал прибора, т.е. отсчеты по шкалам прибора на главную точку левого снимка. Для определения мест нулей шкал  $P$  и  $X$  стереоскопически визируют на нижнюю или верхнюю координатную метку и снимают отсчеты  $P$  и  $X$ , которые будут являться  $MO_P, MO_X$ .

Для определения мест нуля шкал  $Y$  и  $Q$  стереоскопически наводят марку на левую или правую координатную метку. Отсчеты по шкалам  $Y$  и  $Q$  будут являться  $MO$  этих шкал.

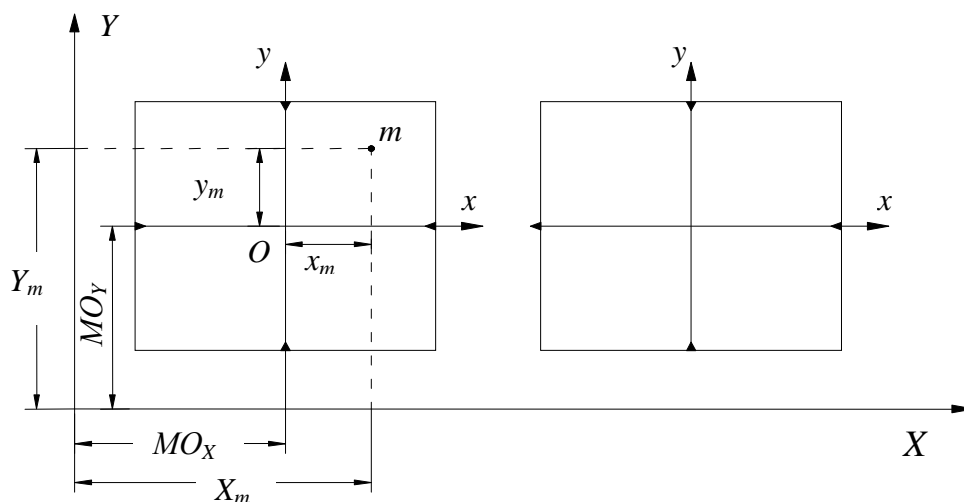


Рис. 46

При измерении снимков стереоскопически наводят марку на все за-проектированные точки и снимают отсчеты со шкал стереокомпаратора, которые заносят в журнал наблюдений.

### Внешнее ориентирование модели

В результате взаимного ориентирования пары аэроснимков вос-становлена модель заснятого участка местности. Эта модель имеет произ-вольный масштаб и произвольно расположена в пространстве. Для построения топографического плана необходимо привести ее к размеру, заданному масштабом плана, и к геодезической системе координат. Этот процесс назы-вается внешним или геодезическим ориентированием модели. Число элементов внешнего ориентирования модели равно семи (рис. 47).

$X_{S(\Gamma)}, Y_{S(\Gamma)}, Z_{S(\Gamma)}$  – геодези-ческие координаты начала фото-грамметрической системы координат  $S_n$ .  $S_nXYZ$  – фотограммет-рическая система координат, в ко-торой выполнено взаимное ориен-тирование, на рис. 47 – базисная система координат;

$S_nX'_{\Gamma}Y'_{\Gamma}Z'_{\Gamma}$  – вспомогательная система координат, оси которой па-

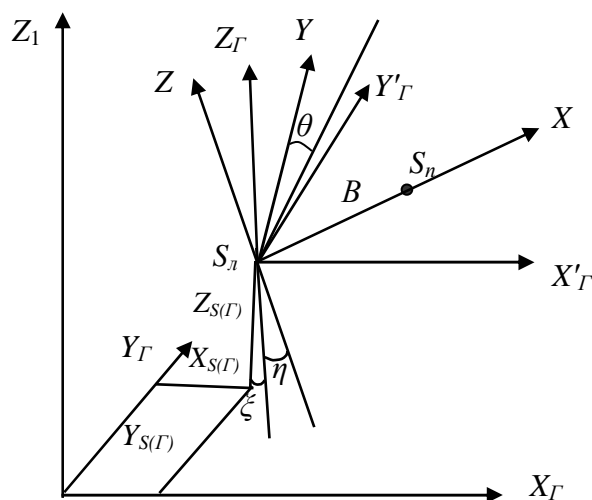


Рис. 47

параллельны соответствующим осям геодезической системы координат  $OX_\Gamma Y_\Gamma Z_\Gamma$ ;

$\xi$  – продольный угол наклона модели, составлен проекцией оси  $Z$  на плоскость  $X'_\Gamma Z'_\Gamma$  с осью  $Z'_\Gamma$ ;

$\eta$  – поперечный угол наклона модели, составлен осью  $Z$  и ее проекцией на плоскость  $X'_\Gamma Z'_\Gamma$ .

$\theta$  – угол поворота модели вокруг оси  $Z$ , составлен осью  $Y$  и следом плоскости  $Y'_\Gamma Z'_\Gamma$ ;

$t$  – знаменатель масштаба построенной модели, задается величиной базиса проектирования  $B$ .

$$t = \frac{B_\phi}{B}, \quad (104)$$

где  $B_\phi$  – длина базиса фотографирования.

Для определения элементов внешнего ориентирования модели необходимы опорные точки. Таких точек должно быть не менее трех, причем две точки должны иметь и плановые координаты, и высоты, а третья точка может иметь только высоту.

Связь координат точки модели в двух системах координат –  $S_n XYZ$  и  $S_n X'_\Gamma Y'_\Gamma Z'_\Gamma$  запишется выражением

$$\begin{pmatrix} X'_\Gamma \\ Y'_\Gamma \\ Z'_\Gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \\ C_1 & C_2 & C_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} t, \quad (105)$$

где  $A_i, B_i, C_i$  – направляющие косинусы, зависящие от углов  $\xi, \eta, \theta$ . Чтобы перейти в систему координат  $OX_\Gamma Y_\Gamma Z_\Gamma$ , необходимо к полученным координатам добавить координаты точки  $S_n$  т.е.  $X_{S(\Gamma)}, Y_{S(\Gamma)}, Z_{S(\Gamma)}$ , получим

$$\begin{pmatrix} X_\Gamma \\ Y_\Gamma \\ Z_\Gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_\Gamma \\ Y'_\Gamma \\ Z'_\Gamma \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{S(\Gamma)} \\ Y_{S(\Gamma)} \\ Z_{S(\Gamma)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{S(\Gamma)} \\ Y_{S(\Gamma)} \\ Z_{S(\Gamma)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \\ C_1 & C_2 & C_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} t. \quad (106)$$

В координатной форме будем иметь

$$\begin{aligned} X_\Gamma &= X_{S(\Gamma)} + (A_1 X + A_2 Y + A_3 Z)t; \\ Y_\Gamma &= Y_{S(\Gamma)} + (B_1 X + B_2 Y + B_3 Z)t; \\ Z_\Gamma &= Z_{S(\Gamma)} + (C_1 X + C_2 Y + C_3 Z)t. \end{aligned} \quad (107)$$

Выражение в скобках отражает переход из системы координат  $S_nXYZ$  в систему координат  $S_nX'_G Y'_G Z'_G$ . Умножая на  $t$ , мы приводим координаты к заданному масштабу.

Уравнения (107) должны быть записаны для трех точек. Совместное решение полученной системы уравнений возможно только на ЭВМ.

Решение можно упростить, исключая неизвестные  $X_{S(G)}, Y_{S(G)}, Z_{S(G)}$  и вычислив независимо  $t$ .

Для этого одна из опорных точек выбирается исходной и относительно этой точки вычисляют приращения координат для остальных точек. Тогда уравнения (107) преобразуются к виду

$$\begin{aligned}\Delta X_G &= (A_1 \Delta X + A_2 \Delta Y + A_3 \Delta Z)t; \\ \Delta Y_G &= (B_1 \Delta X + B_2 \Delta Y + B_3 \Delta Z)t; \\ \Delta Z_G &= (C_1 \Delta X + C_2 \Delta Y + C_3 \Delta Z)t.\end{aligned}\quad (108)$$

Расстояния в двух системах координат, независимо от разворота одной системы относительно другой, не изменяются. Используя это свойство, можно вычислить масштаб построенной модели по формуле

$$t = \frac{S_{(i-k)G}}{S_{(i-k)}} = \frac{\sqrt{\Delta X_G^2 + \Delta Y_G^2 + \Delta Z_G^2}}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}}, \quad (109)$$

где  $S_{(i-k)G}, S_{(i-k)}$  – расстояние между точками в геодезической и фотограмметрической системах координат. Умножая значения в скобках уравнений (103) на знаменатель масштаба модели  $t$ , получим

$$\begin{aligned}\Delta X_G &= A_1 \Delta X' + A_2 \Delta Y' + A_3 \Delta Z'; \\ \Delta Y_G &= B_1 \Delta X' + B_2 \Delta Y' + B_3 \Delta Z'; \\ \Delta Z_G &= C_1 \Delta X' + C_2 \Delta Y' + C_3 \Delta Z'.\end{aligned}\quad (110)$$

Если угловые элементы внешнего ориентирования модели  $\xi, \eta, \theta$  малы, то направляющими косинусами будут

$$\begin{aligned}A_1 &= 1 & B_1 &= \theta & C_1 &= \xi; \\ A_2 &= -\theta & B_2 &= 1 & C_2 &= \eta; \\ A_3 &= -\xi & B_3 &= -\eta & C_3 &= 1.\end{aligned}\quad (111)$$

и уравнения (110) примут вид

$$\begin{aligned}\Delta X_G &= \Delta X' - \theta \Delta Y' - \xi \Delta Z'; \\ \Delta Y_G &= \theta \Delta X' + \Delta Y' - \eta \Delta Z'; \\ \Delta Z_G &= \xi \Delta X' + \eta \Delta Y' + \Delta Z'.\end{aligned}\quad (112)$$

Решение системы уравнений (112) не представляет труда.

## 8. СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Под универсальными приборами понимают такие приборы, на которых решается полный комплекс работ по составлению оригинала карты в пределах одной или нескольких стереопар.

Универсальные приборы делят на два класса.

1. Приборы с подобными связками проектирующих лучей, на которых повторяют геометрическую картину съемочного процесса в уменьшенном масштабе. В этом случае снимки занимают положение, которое было при аэросъемке. Непременным условием является равенство фокусного расстояния прибора  $F$  фокусному расстоянию съемочной камеры  $f$ .

2. Приборы преобразованных связок проектирующих лучей, на которых засечка строится по трансформированным к горизонтальному случаю съемки координатам, измеряемым по плановым снимкам. Приборы этого типа не зависят от величины фокусного расстояния съемочной камеры.

К приборам с подобной связкой проектирующих лучей относятся автографы Вильда, фотостереограф Нистри и др.

К приборам с преобразованной связкой проектирующих лучей относятся стереопроекторы и стереографы.

Почти все универсальные приборы механического способа засечки, в которых положение точек модели получают при помощи двух проектирующих рычагов, повторяющих направление проектирующих лучей.

Фотограмметрическая засечка осуществляется по принципу «треугольник плюс параллелограмм». Вначале рассмотрим схему засечки в виде треугольника (рис. 48).

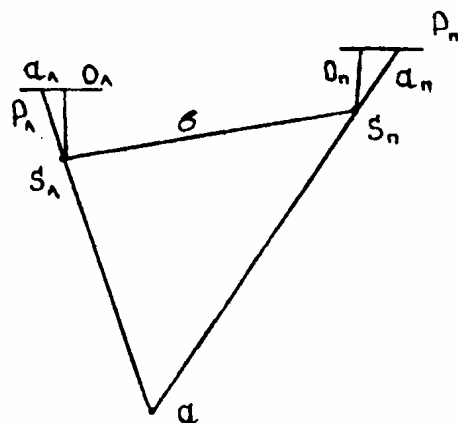


Рис. 48

$S_L$  и  $S_n$  – центры проекций левого  $P_L$  и правого  $P_n$  снимков стереопары;

$S_L S_n = b$  – базис фотографирования в выбранном масштабе построения засечки;

$S_L a_L$  и  $S_n a_n$  – соответствующие проектирующие лучи, которые в пересечении определяют положение точки модели  $a$ .

Представим, что точки  $S_L$  и  $S_n$  являются центрами вращения рычагов, поворачивая которые можно поставить их в такое положение, когда их оси совпадут с проектирующими лучами  $S_L a_L$  и  $S_n a_n$ . В пересечении рычагов получим искомую точку.

Конструктивно выполнить такую схему засечки очень сложно, так как базис проектирования  $b$  очень мал (порядка 60 – 100 мм) и невозможно разместить рычаги на таком расстоянии; кроме того, базис проектиро-



вания может располагаться произвольно в пространстве, что также вызывает неудобства при конструировании прибора. Поэтому в универсальных приборах используют принцип засечки «треугольник плюс параллелограмм» (рис. 49).

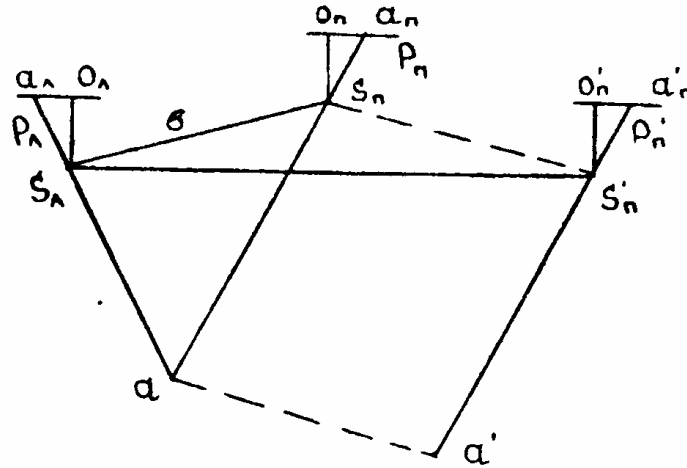


Рис. 49

Снимок  $P_n$  устанавливают не в то положение, какое было при фотографировании в точке  $S_n$ , а центр проектирования переносят в точку  $S_n'$ , расположенную на такой же высоте, что и точка  $S_l$ , и на постоянном расстоянии от центра проектирования  $S_l$ .

Проектирующий луч  $S_n'a_n'$  пройдет параллельно лучу  $S_n a_n$ . В результате будем иметь треугольник  $S_l S_n a$  плюс параллелограмм  $S_n a a' S_n'$ . Базисом проектирования в этом случае будет разность векторов  $S_l S_n'$  и  $aa'$ , т.е.  $\bar{b} = S_l S_n' - aa'$ , или  $\bar{b} = S_l S_n' - aa'$ .

Если не изменять величины и направления отрезка  $aa'$ , а поворачивать рычаги вокруг точек  $S_l$  и  $S_n'$  таким образом, чтобы их оси проходили через соответствующие точки стереопары, то карандаш, расположенный, например, в точке  $a$ , будет фиксировать положение этих точек.

### Приборы преобразованной связки проектирующих лучей

Предположим, что мы имеем горизонтальные снимки  $P_l$  и  $P_n$ , полученные с двух точек  $S_l$  и  $S_n$ , (рис. 50). На обоих снимках имеем изображение  $a_l$  и  $a_n$  точки местности  $A$ . Отрезки  $S_l O_l = f$ ;  $S_l S_n = B$ ;

$$S_l O_l = Z; \quad a_l O_l = x_l; \quad A O_l = X; \quad P = B \frac{f}{H}; \quad H = Z, \quad \text{тогда } P = B \frac{f}{Z}, \quad \text{или}$$

$$\frac{P}{B} = \frac{f}{Z}; \tag{113}$$

$$Z = \frac{B}{P} f. \quad (114)$$

На основании рис. 50 запишем отношение

$$\frac{X}{Z} = \frac{x}{f}.$$

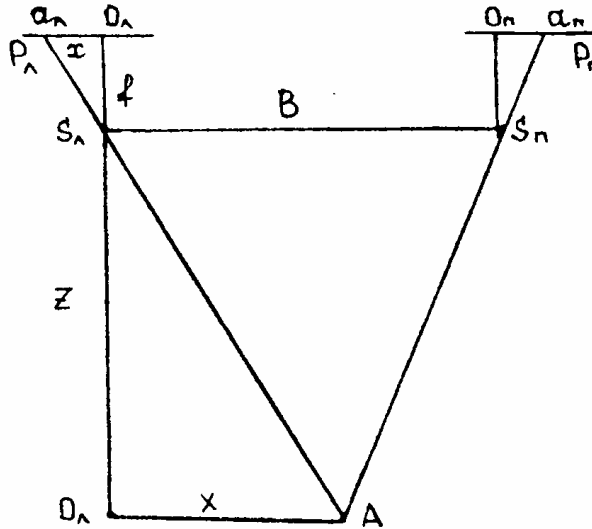


Рис. 50

Решим полученное отношение относительно  $X$ :

$$X = \frac{Z}{f} x.$$

С учетом формулы (113) получим

$$X = \frac{B}{P} x. \quad (115)$$

Аналогично получим формулу для координаты  $Y$

$$Y = \frac{B}{P} y. \quad (116)$$

При использовании подобной связки проектирующих лучей при идеальном случае съемки координаты точек местности можно получить по формулам (114), (115), (116).

Посмотрим, какие получим координаты течек местности при использовании преобразованных связок проектирующих лучей. В этом случае  $F \neq f$ .

Анализируя формулы (115) и (116), приходим к выводу, что плановые координаты точек местности  $X_{np}$  и  $Y_{np}$ , полученные на приборе с преобразованными связками проектирующих лучей, не изменятся, так как координаты  $x$ ,  $y$  и продольный параллакс  $P = x_l - x_n$  не зависят от величины фокусного расстояния аэрофотоаппарата и прибора, т.е.  $X_{np} = X$  и  $Y_{np} = Y$ .

Посмотрим, что произойдет с аппликацией.

$$Z_{np} = \frac{B}{P} F. \quad (117)$$

Решим выражение (114) и (117) относительно  $\frac{B}{P}$ .

$$\frac{B}{P} = \frac{Z}{f} = \frac{Z_{np}}{F}.$$

Откуда

$$Z_{np} = \frac{B}{P} F = Zk, \quad (118)$$

где  $k = \frac{F}{f}$  коэффициенты преобразования (аффинности).

Аппликации  $Z$  искажаются в  $k$  раз. В результате преобразования связок проектирующих лучей вертикальный масштаб построенной модели будет отличаться от горизонтального. Проиллюстрируем это на рис. 51.

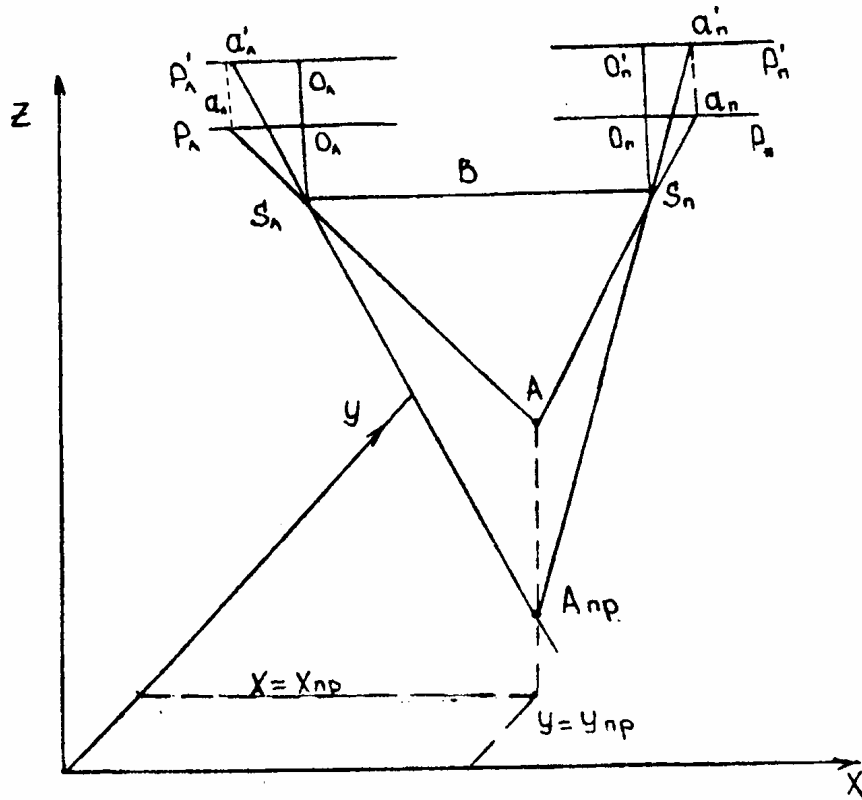


Рис. 51

На чертеже

$$S_l o_l = S_n o_n = f,$$

$$S_l o'_l = S_n o'_n = F,$$

$$o_l a_l = o'_l a'_l = x_l,$$

$$o_n a_n = o'_n a'_n = x_n.$$

## Стереопроектор Романовского

Стереопроектор Романовского (СПР) – это универсальный стереофотограмметрический прибор механического способа засечки, строго решающий задачу с преобразованными связками проектирующих лучей. Он предназначен в основном для составления топографических карт и планов по плановым аэроснимкам.

Стереопроектор Романовского состоит из следующих основных узлов:

1. Наблюдательная система.
2. Механизм пространственной засечки.
3. Коррекционные механизмы.

*Наблюдательная система* представляет собой специальный бинокулярный микроскоп, состоящий из системы призм и линз, предназначенных для передачи изображения от снимка к глазу наблюдателя. В каждой ветви наблюдательной системы имеется измерительная марка.

*Механизм пространственной засечки* включает два пространственных рычага  $L$  и  $L'$  (рис. 52), которые с помощью пространственных шарниров  $N$  и  $N'$  связаны с каретками снимков  $P$  и  $P'$ , с помощью пространственных шарниров  $S$  и  $S'$  – с кареткой фокусных расстояний  $F$ , с помощью шаровых шарниров  $M$  и  $M'$  – с базисными каретками  $b_x$  и  $b_z$ .

Рычаги  $L$  и  $L'$  фиксируют направление проектирующих лучей.

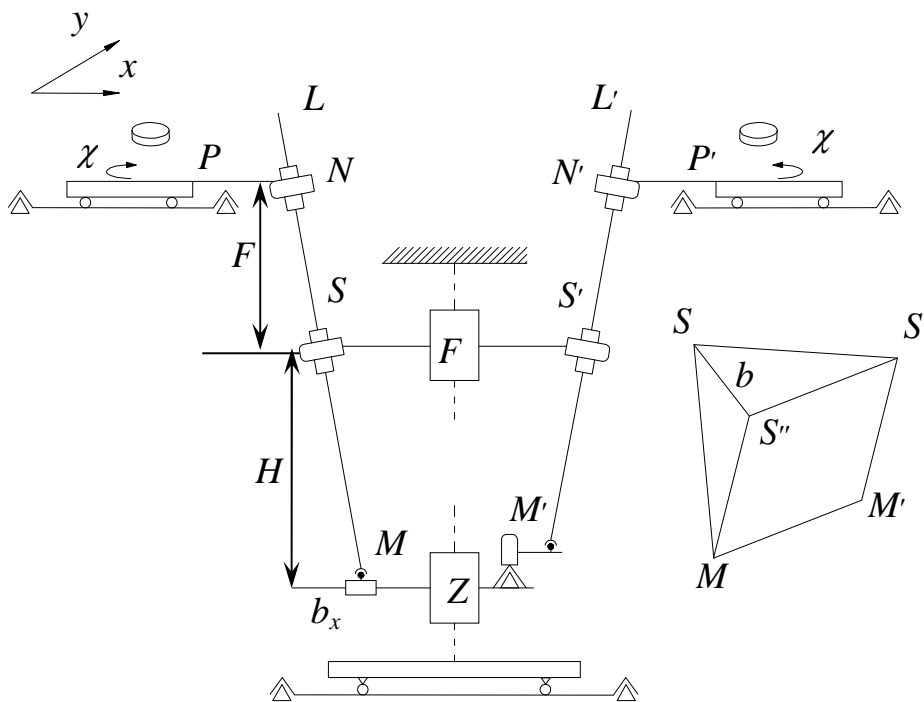


Рис. 52

Фотограмметрическая засечка осуществляется по принципу треугольник  $SS''M$  плюс параллелограмм  $S''MM'S'$ . Базис проектирования  $b$  определится

$$\bar{b} = SS' - MM'.$$

Для установки базиса проектирования служит базисная каретка, которая имеет движения  $b_x$ ,  $b_y$  и  $b_z$  параллельно осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  прибора. Каретка фокусных расстояний  $F$  перемещается параллельно оси  $Z$  и на ней можно установить величину фокусного расстояния прибора от 150 до 300 мм.

Снимки  $P$  и  $P'$  размещают на каретках снимков всегда горизонтально и они могут вращаться в своей плоскости на углы  $\chi$  и  $\chi'$  и перемещаются в направлении осей  $X$  и  $Y$  при помощи высокоточных проектирующих стержней.

Проектирующие рычаги  $L$  и  $L'$  поворачиваются вокруг точек  $S$  и  $S'$ . Чтобы повернуть их, перемещают базисную каретку в направлении осей  $X$  и  $Y$ .

Каретка высот  $Z$  при помощи ножного штурвала перемещается параллельно оси  $Z$  прибора.

Механизм пространственной засечки позволяет определять координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  точек местности по координатам горизонтальных снимков.

На приборе имеется два одинаковых, симметрично расположенных *коррекционных механизма*, при помощи которых координаты аэроснимков преобразовываются (трансформируются) к горизонтальному случаю съемки.

Коррекционный механизм решает уравнение

$$\delta r = r - r_0, \quad (119)$$

где  $\delta r$  – смещение наблюдаемой точки, вызванное наклоном снимка;

$r$  – радиус-вектор на плановом снимке, соединяющий точку нулевых искажений с наблюдаемой точкой;

$r_0$  – аналогичный радиус-вектор на горизонтальном снимке.

Определим величину смещения  $\delta r$ , которую должен учитывать коррекционный механизм.

На рис. 53 изображены два аэроснимка:  $P_0$  – горизонтальный и  $P$  – наклонный, полученные из одной и той же точки фотографирования, они пересекутся по линии неискаженных масштабов.

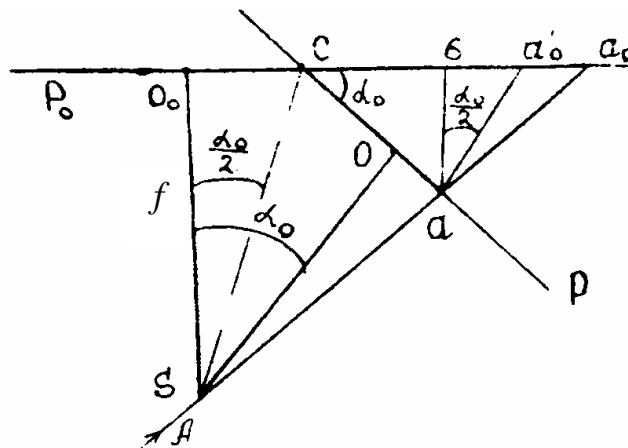


Рис. 53

Точка  $C$  – точка нулевых искажений, полученная в результате пересечения биссектрисы угла наклона со снимком.

Спроектируем точку местности  $A$  на оба аэроснимка, в результате получим ее изображение в точках  $a$  и  $a_0$ . Тогда  $ca_0 = r_0$ ,  $ca = r$ ,  $So_0 = So = f$ .

Для определения величины поправки  $\delta r$  проведем линию  $aa'_0 \parallel Sc$  и  $ab$  перпендикулярно снимку  $P_0$ .

Угол при вершине  $a$  в треугольнике  $ava_0$  равен  $\frac{\alpha_0}{2}$ , следовательно, угол при вершине  $a'_0$  равен  $\left(90 - \frac{\alpha_0}{2}\right)$ , тогда в треугольнике  $aca'_0$  угол при вершине  $a$  равен  $\left(90 - \frac{\alpha_0}{2}\right)$  и треугольник является равнобедренным, т.е.  $ca'_0 = ca = r$  и отрезок  $a'_0a_0 = \delta r$ .

Из подобия треугольников  $a_0a'_0a$  и  $a_0cS$  запишем отношение

$$\frac{\delta r}{r_0} = \frac{a'_0a}{Sc} = \frac{ab}{So_0} = \frac{ab}{f}.$$

Решим полученное отношение относительно  $\delta r$ .

$$\delta r = r_0 \frac{ab}{f}. \quad (120)$$

Неизвестную величину  $ab$  в формуле (120) найдем из треугольника  $cab$ :

$$ab = r \sin \alpha_0. \quad (121)$$

Подставим значение  $ab$  из (121) в выражение (120):

$$\delta r = \frac{rr_0}{f} \sin \alpha_0. \quad (122)$$

Полученное значение  $\delta r$  и будет поправкой, которую должен вводить коррекционный механизм за переход от наклонного снимка к горизонтальному.

Коррекционный механизм (рис. 54) состоит из каретки объектива  $Об$ , которая может перемещаться в плоскости  $XU$ ; двух прецизионных рычагов  $R_1$  и  $R_2$ ; вертикальной каретки  $V$  с пальцем  $Q$ . С помощью шарниров  $T_1, T_2, T_3$  рычаг  $R_1$  связан с кареткой объектива  $Об$ , вертикальной кареткой  $V$  и кареткой снимка. К верхнему концу рычага  $R_2$  жестко крепится коррекционная плоскость  $G$ , которая вращается в карданной подвеске  $T_4$ . Нижний конец рычага  $R_2$  связан шарниром  $T_5$  с кареткой снимка. Вертикальная каретка  $V$  может перемещаться только параллельно оси  $Z$  прибора. С ней связан палец  $Q$ , который можно смещать в направлении осей  $X$  и  $Y$ .

Если палец  $Q$  совместить с центром вращения коррекционной плоскости, т.е. точкой  $T_4$ , то вертикальная каретка  $V$  опустится и на такую же величину опустится центр шарнира  $T_2$  и совпадет с центром шарнира  $T_1$ .

В этом случае каретка объектива  $Ob$  останется неподвижной при любых наклонах рычагов  $R_1$  и  $R_2$ , т.е. при любых координатах  $X$  и  $Y$  снимка.

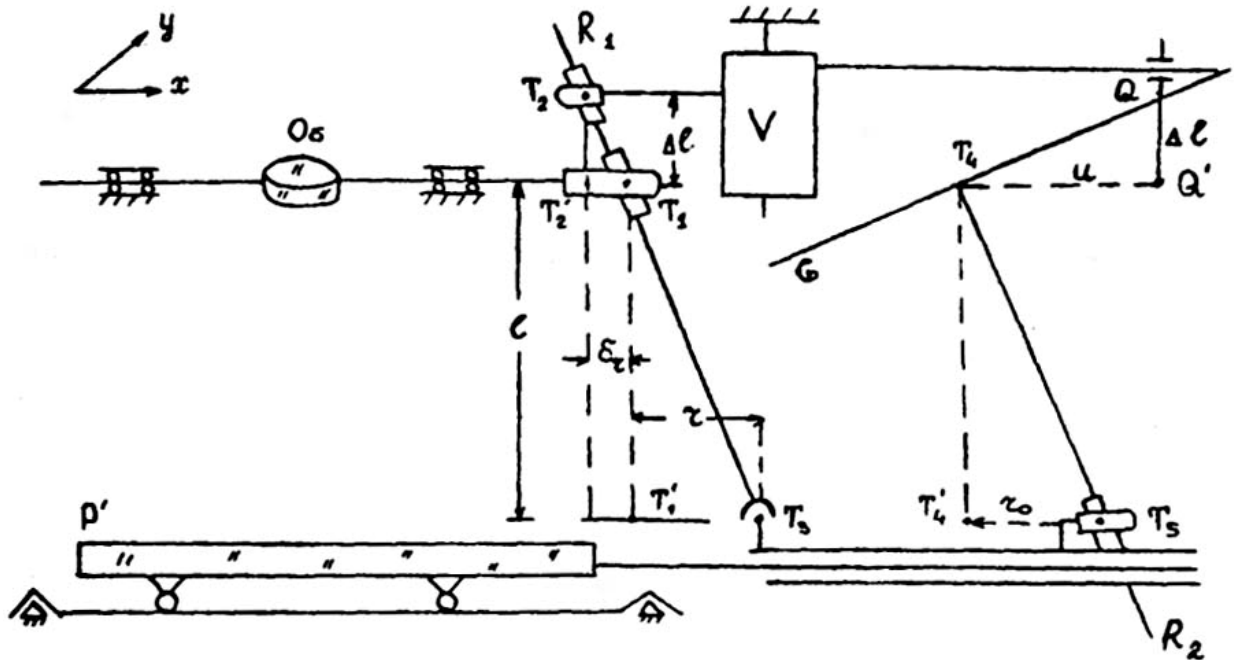


Рис. 54

Когда палец  $Q$  смещен на величину  $u$  относительно точки  $T_4$ , то при наклоне рычагов  $R_1$  и  $R_2$  наклонится и коррекционная плоскость  $G$  и поднимет (опустит) палец  $Q$  на величину  $\Delta l$ , на столько же поднимется (опустится) вертикальная каретка  $V$  и, следовательно, центр шарнира  $T_2$ ; так как расстояние от шарнира  $T_2$  до каретки  $V$  постоянное, то сместится шарнир  $T_1$  на величину  $\delta r$  и на эту же величину сместится каретка объектива.

Таким образом, осуществится введение поправки в положение наблюдаемой точки.

Рассматривая подобные треугольники  $T_1T_1'T_3$  и  $T_1T_2'T_2$ , запишем отношение

$$\frac{\delta r}{\Delta l} = \frac{r}{l},$$

откуда

$$\delta r = \frac{r}{l} \Delta l. \quad (123)$$

Из подобных треугольников  $QQ'T_4$  и  $T_4T_4'T_5$  будем иметь

$$\frac{\Delta l}{u} = \frac{r_0}{l},$$

тогда

$$\Delta l = \frac{r_0}{l} u. \quad (124)$$

Подставим значение  $\Delta\ell$  в формулу (123):

$$\delta r = \frac{rr_0}{\ell^2} u. \quad (125)$$

Поправка, вводимая коррекционным механизмом (125), должна быть равна поправке, вычисляемой по формуле (122)

$$\frac{rr_0}{f} \sin \alpha_0 = \frac{rr_0}{\ell^2} u,$$

следовательно, величина смещения пальца  $Q$  будет равна

$$u = \frac{\ell^2}{f} \sin \alpha_0. \quad (126)$$

На приборе величина  $u$  устанавливается смещением пальца вдоль осей  $X$  и  $Y$  на величины

$$u_x = \frac{\ell^2}{f} \sin \alpha; \quad u_y = \frac{\ell^2}{f} \sin \omega. \quad (127)$$

Для строгого решения задачи при отвесном положении рычагов коррекционного механизма с измерительной маркой должна совпадать точка нулевых искажений  $s$ , что достигается путем децентрации коррекционного механизма на величины

$$\begin{aligned} \delta x &= f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \\ \delta y &= f \cdot \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}. \end{aligned} \quad (128)$$

При отвесном положении проектирующего рычага с измерительной маркой должна совпадать точка надира снимка  $n$ . Это требование достигается путем децентрации снимка на величины

$$\begin{aligned} dx &= f \cdot \operatorname{tg} \alpha; \\ dy &= f \cdot \operatorname{tg} \omega. \end{aligned} \quad (129)$$

На приборе СПР-3М предусмотрено автоматическое введение децентрации коррекционного механизма.

### Стереограф Дробышева

Стереограф Дробышева (СД) является универсальным стереофотограмметрическим прибором механического способа засечки, решающим задачу с преобразованными связками проектирующих лучей. Прибор предназначен для составления топографических карт и планов по плановым аэроснимкам, полученным аэрофотоаппаратами с фокусными расстояниями от 55 до 210 мм.



Основные части прибора:

1. Наблюдательная система.
2. Механизм пространственной засечки.
3. Два коррекционных механизма.

*Наблюдательная система* предназначена для стереоскопического рассматривания пары снимков и наведения измерительных марок на точки.

*Механизм пространственной засечки.* Чтобы уменьшить габариты прибора вдоль оси  $X$ , снимки устанавливают вдоль оси  $Y$  и механизм пространственной засечки размещен примерно в плоскости  $YOZ$ . Кинематическая схема его приведена на рис. 55.

Механизм пространственной засечки состоит из двух пространственных рычагов  $L$  и  $L'$ , которые с помощью шаровых шарниров  $M$  и  $M'$  связаны с базисной кареткой  $b_y$  и  $b_z$ , с помощью пространственных шарниров  $N$  и  $N'$  – с каретками снимков  $P$  и  $P'$ , с помощью пространственных шарниров  $S$  и  $S'$  рычаги крепятся к станине прибора. В отличие от соответствующего механизма СПР пространственные шарниры  $N$  и  $N'$  расположены от шарниров  $S$  и  $S'$  не вверх, а вниз, что позволило уменьшить габариты прибора по высоте.

Пространственная засечка осуществляется по принципу «треугольник плюс параллелограмм». Базис проектирования  $b$  определяется как разность двух векторов

$$\bar{b} = \overline{SS'} - \overline{MM'}.$$

Задача, решаемая механизмом пространственной засечки, тождественна той, которую решает аналогичный механизм СПР.

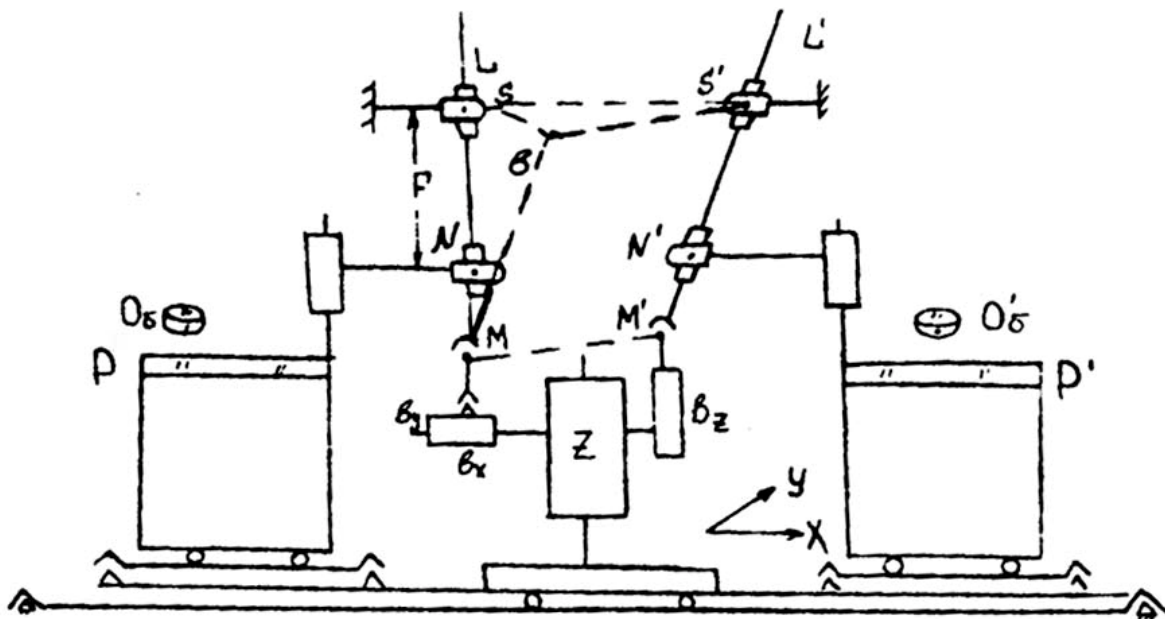


Рис. 55

Для строгого решения при отвесном положении каждого рычага с измерительной маркой должна совпадать точка надира, для этого децентрируют аэроснимки вдоль оси  $X$  и объективы наблюдательной системы вдоль оси  $Y$  на величины

$$dx = f \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

$$dy = f \cdot \operatorname{tg} \omega.$$

#### Коррекционный механизм стереографа

На рис. 56 показан коррекционный механизм левого аэроснимка. Коррекционный механизм включает рычаг  $L$  с шарнирами  $S$ ,  $N$ ,  $M$ , используемыми в механизме пространственной засечки.

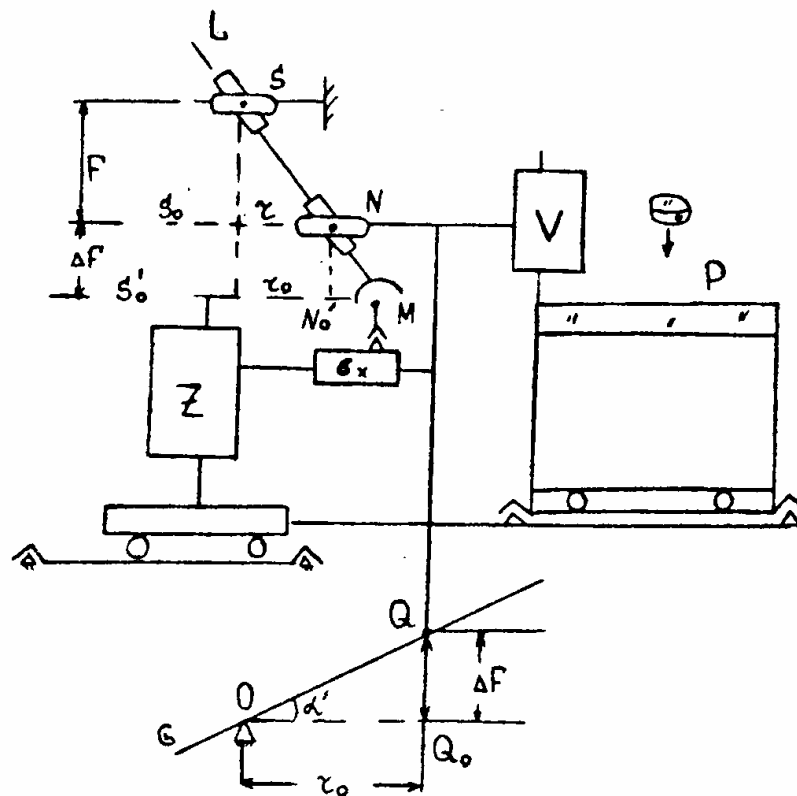


Рис. 56

Шарнир  $N$  связан с аэроснимком  $P$  при помощи вертикальной каретки  $V$  и с ним связан также палец  $Q$ , опирающийся на коррекционную плоскость  $G$ .

Коррекционная плоскость может наклоняться относительно точки  $O$  в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Если коррекционная плоскость  $G$  горизонтальна, то шарниры  $N$  и  $M$  совмещены, и в положение точек на снимке поправки вводиться не будут при любых наклонах рычага  $L$ , т.е. при любых координатах снимка. При наклоне коррекционной плоскости палец  $Q$  поднимет шарнир  $N$  относительно шарнира  $M$  на величину  $\Delta F$  и в положение точки введется поправка  $N'_0M = \delta r$ .

Из подобия треугольников  $NN_0M$  и  $SS_0N$

$$\frac{\delta r}{\Delta F} = \frac{r}{F},$$

тогда

$$\delta r = \frac{r\Delta F}{F}. \quad (130)$$

Величину  $\Delta F$  можно найти из прямоугольного треугольника  $QQ_0O$ :

$$\Delta F = r_0 \operatorname{tg} \alpha'$$

Подставим полученное значение в равенство (130)

$$\delta r = \frac{rr_0}{F} \operatorname{tg} \alpha'. \quad (131)$$

Необходимо вводить поправку

$$\delta r = \frac{rr_0}{f} \operatorname{tg} \alpha. \quad (132)$$

Приравняем уравнения (131) и (132)

$$\frac{rr_0}{f} \sin \alpha = \frac{rr_0}{F} \operatorname{tg} \alpha'.$$

Решим полученное равенство относительно  $\operatorname{tg} \alpha'$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{F}{f} \sin \alpha. \quad (133)$$

По аналогии можно записать

$$\operatorname{tg} \omega' = \frac{F}{f} \sin \omega. \quad (134)$$

Для строгого решения задачи введения поправок  $\delta r$  необходимо, чтобы при отвесном положении рычага  $L$  с измерительной маркой совпала точка нулевых искажений, поэтому аэроснимки должны децентрироваться на величины

$$\delta x = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2};$$

$$\delta y = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}.$$

В стереографе Дробышева децентрацию аэроснимков необходимо также выполнить на величины

$$dx = f \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

$$dy = f \cdot \operatorname{tg} \omega,$$

в связи с чем задача решается приближенно. Обычно вводят децентрации, вычисляемые по формулам (129), так как поправки за рельеф превышают поправки за углы наклона.

Кроме того, в стереографе Дробышева имеют место и другие отклонения от теории, что может привести к искажениям. Чтобы получить удовлетворительную точность на стереографе, следует обрабатывать гиросtabilизированные аэроснимки, углы наклона которых не превышают  $1^\circ$ .

Стереограф ЦНИИГАиК является модификацией стереографа Дробышева и имеет аналогичную конструкцию.

### **Ориентирование и обработка снимков на универсальных приборах**

Обработка снимков на универсальных приборах включает решение следующих задач:

1. Взаимное ориентирование снимков.
2. Внешнее ориентирование модели.
3. Измерение модели и представление результатов в одной из разновидностей форм.

#### **Взаимное ориентирование снимков**

При наблюдении неориентированных снимков возникают поперечные параллаксы

$$q = y_l - y_n.$$

Отсутствие поперечных параллаксов является критерием правильности взаимного ориентирования.

Решение задачи взаимного ориентирования можно вести двумя путями:

- 1) базис неподвижен, а поперечный параллакс устраняется угловыми движениями проектирующих камер  $\alpha_l, \chi_l, \alpha_n, \omega_n, \chi_n$ ;
- 2) левый снимок неподвижен, а взаимное ориентирование достигается измерением положения правого снимка и базиса на величины  $\alpha_n, \omega_n, \chi_n, b_y, b_z$ .

Решение задачи может быть достигнуто последовательным уничтожением непосредственно наблюдаемых поперечных параллаксов на ряде точек, число которых не может быть меньше пяти. Так как при уничтожении поперечного параллакса на одной из последующих точек он может возникнуть на предыдущей, где раньше был устранен, то решать задачу можно только путем последовательных приближений.

Формулы связи поперечного параллакса с элементами взаимного ориентирования для базисной системы координат

$$q = -\frac{x_l y_n}{f} \alpha_l + \frac{x_n y_l}{f} \alpha_n + \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \omega_n - x_l \chi_l + x_n \chi_n,$$

для системы координат левого снимка

$$q = \frac{x_n y_l}{f} \Delta\alpha + \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \Delta\omega + x_n \Delta\chi + \frac{y}{f} b_z + b_y. \quad (135)$$

Мы записали уравнения взаимного ориентирования для произвольной точки. При выборе точек для взаимного ориентирования и рабочих движений на них исходят из двух требований:

- 1) действие этого движения должно быть максимальным;
- 2) последующие движения не должны влиять на установку предыдущих.

Рассмотрим на стереопаре зоны максимального влияния тех или других элементов взаимного ориентирования в базисной системе координат.

Анализируя влияние каждого рабочего движения на изменение значения поперечного параллакса  $q$  (уравнение 86), можно отметить, что движение  $\alpha_l$  вызывает максимальные поперечные параллаксы при  $x_{l(\max)}$  и  $y_{n(\max)}$ .

В соответствии с изложенным на рис. 57 показаны зоны максимального влияния элементов взаимного ориентирования  $\alpha_l, \chi_l, \alpha_n, \omega_n, \chi_n$  на поперечный параллакс.

Чтобы исключить влияние угла  $\chi$  на точках, где действуют три элемента взаимного ориентирования, необходимо начинать устранять поперечные параллаксы на центральных точках (рис. 58).

Предположив, что на точках 3 и 4 поперечный параллакс в одинаковой мере вызван движениями  $\alpha_l, \omega_n$ , половину наблюдаемого поперечного параллакса устраняют движением  $\alpha_l$ , вторую –  $\omega_n$ . Ориентирование ведут методом последовательных приближений.

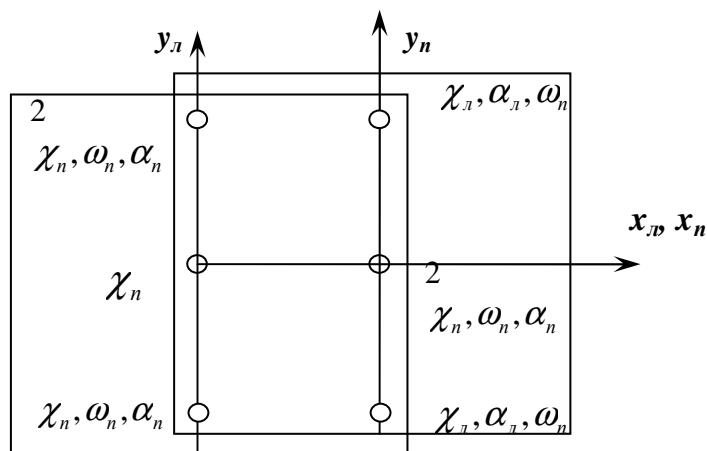


Рис. 57

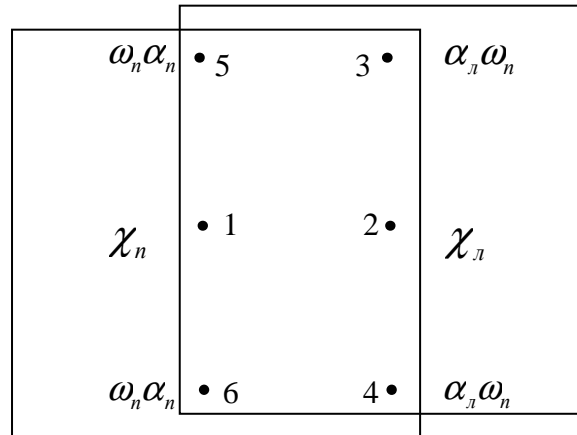


Рис. 58

Наиболее целесообразный порядок устранения поперечных параллаксов в базисной системе координат показан на рис. 59.

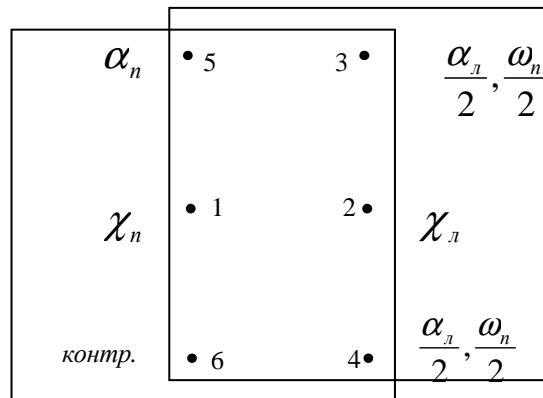


Рис. 59

Проанализировав уравнение (134), можно предложить и другие схемы взаимного ориентирования в базисной системе координат.

Для системы координат левого снимка зоны максимального, влияния элементов взаимного ориентирования на поперечный параллакс определим из анализа уравнения (135) (рис. 60).

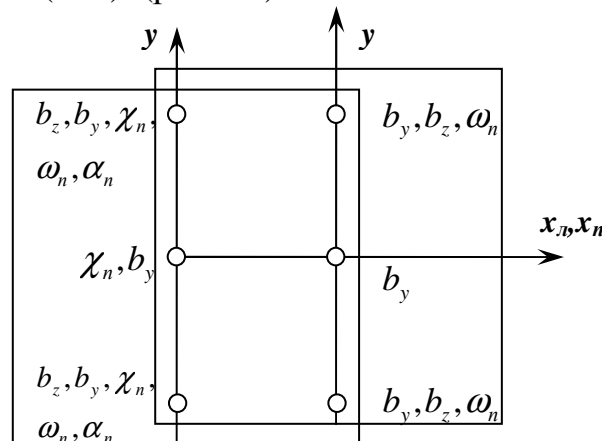


Рис. 60

Согласно отображенным на рис. 58 зонам максимального влияния покажем наиболее целесообразный порядок уничтожения поперечных параллаксов рабочими движениями правой камеры (рис. 61).

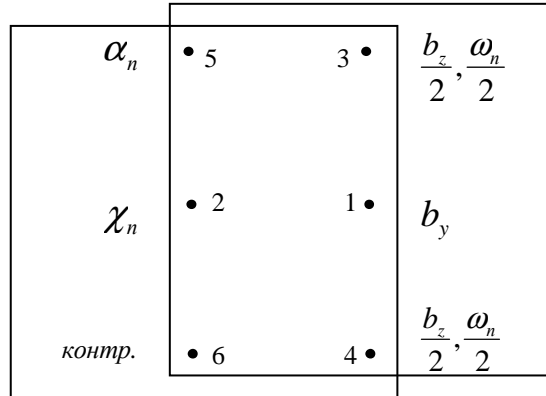


Рис. 61

Второе требование удается выполнить для всех движений кроме  $\omega$ , так как угол  $\omega$  вызывает поперечные параллаксы, не только зависящие от текущих координат, но и имеющие постоянную часть

$$q_\omega = \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \omega_n; \quad q'_\omega = \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \Delta\omega;$$

$$q'_\omega = f \omega_n; \quad q'_\omega = f \Delta\omega.$$

Это обстоятельство приводит к большому числу приближений при работе по взаимному ориентированию.

При взаимном ориентировании снимков на приборах преобразованной связки проектирующих лучей необходимо учитывать некоторые особенности, вытекающие из того, что снимки не устанавливаются во взаимное положение, которое было при съемке, а лишь трансформируются координаты точек.

Взаимное ориентирование также проводят путем устранения поперечных параллаксов на стандартно выбранных точках.

Уравнения взаимного ориентирования имеют вид:

а) в базисной системе координат

$$q = -\frac{x_l y_n}{f} \alpha_l + \frac{x_n y_l}{f} \alpha_n + \left( \frac{y_l y_n}{f} \right) \omega_n - x_l \chi_l + x_n \chi_n;$$

б) в системе координат левого снимка

$$q = \frac{x_n y_l}{f} \Delta\alpha + \left( \frac{y_l y_n}{f} \right) \Delta\omega + x_n \Delta\chi + \frac{y}{f} b_z + b_y.$$

Как видно из формул, поперечные параллаксы, вызванные движением  $\omega$ , пропорциональны ординатам  $y$ ; величины  $f \omega_n$  или  $f \Delta\omega$  в процессе работы учитываются путем децентрации снимков. Ориентирование

ведется в той же последовательности, что и на приборах подобной связи проектирующих лучей.

После введения децентрации и при отсутствии поперечных параллаксов считают работу по взаимному ориентированию оконченной.

### Внешнее (геодезическое) ориентирование модели

Внешнее ориентирование модели на универсальных приборах выполняется в два этапа:

1. Масштабирование, т.е. приведение построенной модели к заданному масштабу.

2. Горизонтирование, т.е. поворот модели относительно координатных осей прибора.

#### *Масштабирование*

Масштабирование может быть выполнено аналитическим, графоаналитическим способами или способом последовательных приближений. Аналитический способ применяют в том случае, когда имеется каталог координат опорных точек. По геодезическим данным и по данным, полученным на приборе, определяют масштабный коэффициент  $K$

$$K = \frac{L}{M\ell} = \frac{\sqrt{\Delta X_2^2 + \Delta Y_2^2 + \Delta Z_2^2}}{M\sqrt{\Delta X_\phi^2 + \Delta Y_\phi^2 + \Delta Z_\phi^2}}, \quad (136)$$

где  $L$  – расстояние между опорными точками на местности;

$\ell$  – аналогичное расстояние на модели;

$M$  – знаменатель масштаба создаваемой карты;

$\Delta X_2, \Delta Y_2, \Delta Z_2$  – приращения координат между опорными точками в геодезической системе координат;

$\Delta X_\phi, \Delta Y_\phi, \Delta Z_\phi$  – приращения координат между одноименными опорными точками на модели.

Вычислив коэффициент  $K$ , определяют установочные значения базисных компонент

$$b_x = b'_x K, \quad b_y = b'_y K, \quad b_z = b'_z K, \quad (137)$$

здесь  $b'_x, b'_y, b'_z$  – значения базисных компонент, снятые со шкал прибора после взаимного ориентирования.

На производстве часто опорные точки нанесены на основу в заданном масштабе. В этом случае можно применять графоаналитический способ масштабирования.

Как известно, масштаб построенной модели и, следовательно, расстояния между опорными точками зависят от величины базиса проектирования  $b$ . Запишем соотношение

$$\frac{b}{b'} = \frac{\ell}{\ell'}, \quad (138)$$



где  $b$  и  $b'$  – истинный и снятый с прибора базис проектирования;  $l$ ,  $l'$  – необходимое расстояние между опорными точками и измеренное на модели.

Вычтем из обеих частей отношения (138) по единице

$$\frac{b}{b'} - \frac{b'}{b'} = \frac{l}{l'} - \frac{l'}{l'}$$

или

$$\frac{\Delta b}{b'} = \frac{\Delta l}{l'}, \quad (139)$$

где  $\Delta b = b - b'$ ,  $\Delta l = l - l'$ .

Решим отношение (139) относительно  $\Delta b$

$$\Delta b = \frac{\Delta l}{l'} b'.$$

Поправки в базисные компоненты будут

$$\Delta b_x = b'_x \frac{\Delta l}{l'}, \quad \Delta b_y = b'_y \frac{\Delta l}{l'}, \quad \Delta b_z = b'_z \frac{\Delta l}{l'}. \quad (140)$$

Для введения поправок на экран прибора помещают основу, измерительную марку наводят на одну из опорных точек и под острие карандаша подводят эту точку основы. Затем визируют на вторую опорную точку, разворачивают планшет так, чтобы карандаш был на линии 1 – 2 (рис. 62) и накальвают точку 2'. Измеряют отрезки  $l$  и  $l'$  и по формулам (140) вычисляют поправки в базисные компоненты.

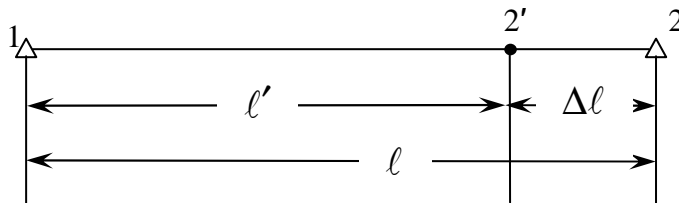


Рис. 62

Этот способ можно использовать только при обработке плановых снимков и незначительных превышениях точек местности. В противном случае масштабирование и поворот модели необходимо выполнять в несколько приближений.

В методе последовательных приближений поправки вводятся на основе опыта наблюдателя без предварительного их подсчета.

### *Горизонтирование*

На этом этапе модель, приведенную к заданному масштабу, поворачивают в положение, при котором оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  прибора совпадают с заданной системой координат.

Горизонтирование модели может быть выполнено двумя методами:

1. По установочным элементам.

2. Методом последовательных приближений. Установочные элементы могут быть получены из результатов пространственного фототриангулирования, аналитическим или графоаналитическим способами.

Аналитический метод требует наличия опорных точек. Установочные данные можно получить по результатам решения системы уравнений (110). Из-за громоздкости вычислений употребляется редко.

Графоаналитический способ выгодно использовать, когда опорные точки расположены произвольно на площади стереопары.

Предположим, что мы имеем три точки с известными высотными отметками (рис. 63).

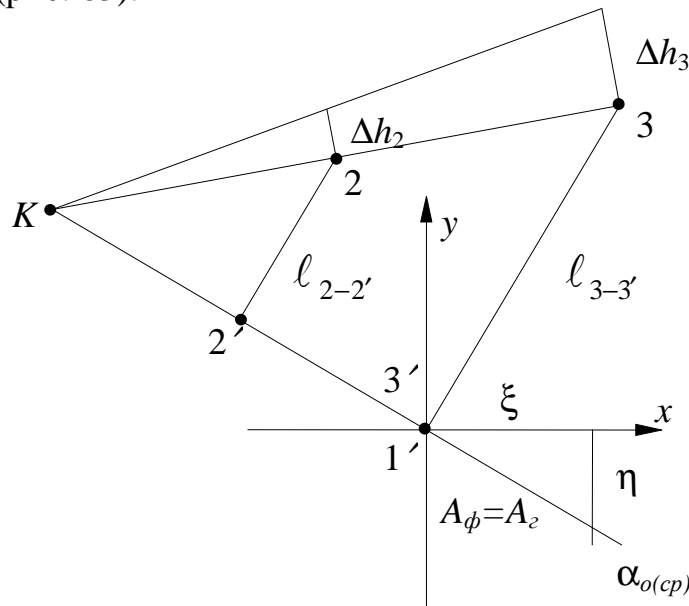


Рис. 63

При визировании на точку 1 устанавливаем ее фотограмметрическую отметку  $A_\phi$  равной геодезической  $A_z$ . Визируем на точки 2 и 3 и определяем расхождение фотограмметрических и геодезических отметок

$$\Delta h_2 = A_{\phi(2)} - A_{z(2)},$$

$$\Delta h_3 = A_{\phi(3)} - A_{z(3)}.$$

Соединим точки 2-3 и от этих точек отложим превышения в произвольном масштабе перпендикулярно к линии 2-3. Концы полученных отрезков соединим линией и продолжим ее до пересечения с линией 2-3 в точке  $K$ . В этой точке  $A_\phi = A_z$ . Соединим точку 1 с точкой  $K$ , получим линию пересечения плоскостей  $XU$  модели и внешней системы координат. На всей этой линии  $A_\phi = A_z$ .

Опустим перпендикуляры из точек 2 и 3 на линию 1- $K$ . Измерив отрезки  $l_{2-2'}$  и  $l_{3-3'}$ , можно дважды найти угол наклона снимка

$$\alpha'_0 = \frac{\Delta h_2}{l_{2-2'}}, \quad \alpha''_0 = \frac{\Delta h_3}{l_{3-3'}}, \quad \alpha_{0(cp)} = \frac{\alpha'_0 + \alpha''_0}{2}.$$

Так как на приборе необходимо установить составляющие угла наклона  $\alpha_{0(cp)}$ , то поступают следующим образом. Через точку 1 проводят направление осей  $X$  и  $Y$  прибора, по линии 1-К откладывают в произвольном масштабе  $\alpha_{0(cp)}$ . Затем необходимо спроектировать концы отрезка  $\alpha_{0(cp)}$  на ось  $X$ , получим продольный  $\xi$  и поперечный  $\eta$  углы наклона модели (рис. 63).

Метод последовательных приближений наиболее эффективно использовать, когда точки расположены попарно параллельно осям координат (рис. 64).

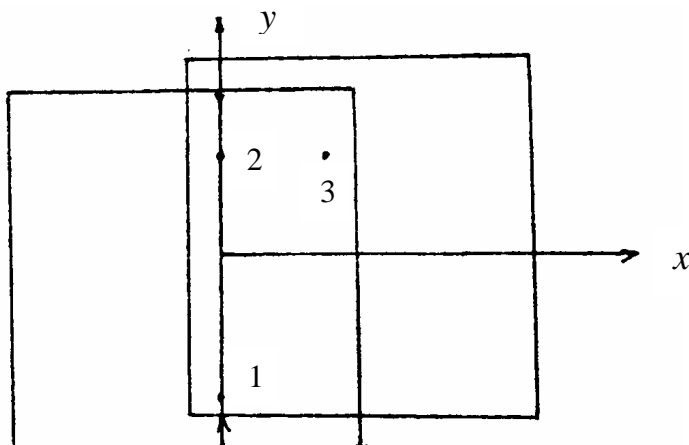


Рис. 64

При визировании на точку 1 установим ее отметку, равную геодезической. Обнаруженные расхождения высот на второй точке устраняют только наполовину поворотом модели в поперечном направлении, синхронно вращая винты  $\omega$  левого и правого снимков, а расхождения высот на третьей точке полностью устраняют поворотом модели в продольном направлении, синхронно вращая винты  $\alpha_n$  и  $\alpha_n$ . Возникшие при этом поперечные параллаксы устраняют движением  $b_z$ .

### Составление оригинала карты

Полученную на приборе в результате взаимного и внешнего ориентирования модель измеряют с целью создания оригинала карты.

Составление оригинала карты должно начинаться с нанесения элементов гидрографии. Для этого обводят контур измерительной маркой так, чтобы марка все время касалась его. Затем приступают к рисовке рельефа. Для проведения горизонтали на счетчике высот устанавливается ее отметка. Наблюдая модель местности, трассируют измерительную марку по поверхности модели. Карандаш в это время вычерчивает горизонталь на планшете. Одновременно с проведением горизонталей определяют высотные отметки характерных точек: урезы вод, вершин и т.д. Контурная часть плана составляется в последнюю очередь.

## 9. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИЯ

### Пространственная фотриангуляция

Пространственная фототриангуляция решает задачу дополнительного сгущения геодезической опорной сети. Возможность получать достаточно большое число плановых и высотных точек камеральным путем, имея несколько геодезических точек на маршрут, в значительной мере сокращает полевые работы по определению опорных точек. Получаемые точки служат для дальнейшей фотограмметрической обработки снимков с целью построения топографического плана.

Сущность пространственной фототриангуляции состоит в построении модели местности по снимкам, принадлежащим к одному или нескольким маршрутам, и ориентировании ее относительно геодезической системы координат.

В зависимости от количества маршрутов фототриангуляцию подразделяют на маршрутную и блочную. В зависимости от применяемых технических средств – на аналоговую и аналитическую.

При аналоговой фототриангуляции пространственные фотограмметрические сети строят на универсальных стереофотограмметрических приборах.

В аналитической фототриангуляции координаты определяемых точек вычисляют по измеренным на стереокомпараторе координатам точек снимков, используя формулы связи координат точек снимков и местности.

### Фотриангуляция на универсальных стереофотограмметрических приборах

При фототриангуляции на универсальных стереоприборах фототриангуляционные сети можно строить на любых универсальных приборах: мультиплексе, стереопланиграфе, стереопроекторе и др. Так как на мультиплексе много проекторов, то сеть строится сразу на маршрут.

При построении сетей фототриангуляции на мультиплексе сначала с

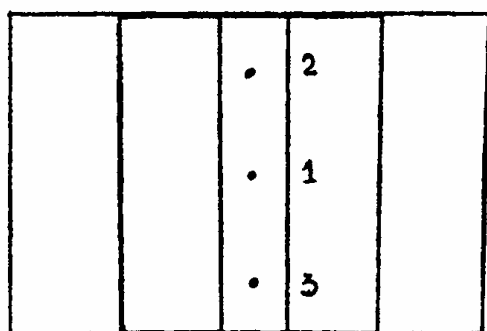


Рис. 65

негативов изготавливают уменьшенные диапозитивы, которые закладывают в проекторы таким образом, чтобы главная точка диапозитива совпала с центром прикладной рамки. Если сеть небольшая, то первую стереопару взаимно ориентируют в базисной системе координат, а все последующие – в системе координат левого снимка. В зоне тройного перекрытия выбирают связующие точки, как показано на рис. 65.

Эти связующие точки будут использованы для приведения масштаба второй модели к масштабу первой. Для этого стереоскопически визируют марку на точку 1 в первой модели. Затем выключают первый проектор, включают третий и наблюдают, касается ли измерительная марка этой же точки во второй модели, и если нет, то добиваются касания, изменяя базисную компоненту  $b_x$ . Сказанное выше иллюстрирует рис. 66.

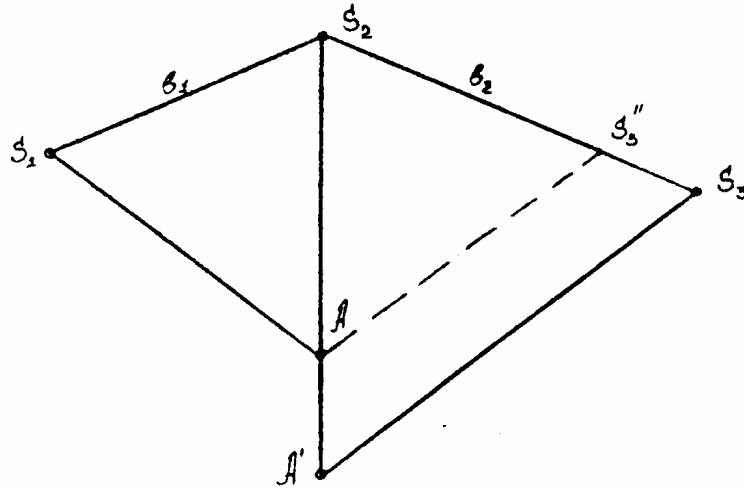


Рис. 66

Если базисную компоненту  $b_x$  изменить на значительную величину, то могут возникнуть поперечные параллаксы, которые устраняют на точке 1 движением  $b_y$ , а на точке 2 –  $b_z$ . Поперечные параллаксы возникают из-за того, что был изменен не сам базис « $b$ », а его составляющая  $b_x$  (рис. 67).

Точки 2 и 3 (рис. 65) служат для контроля передачи масштаба, и если на этих точках отметки в двух моделях не равны между собой, то это говорит о плохо выполненном взаимном ориентировании, которое необходимо уточнить. Аналогично передают масштаб и на последующие модели.

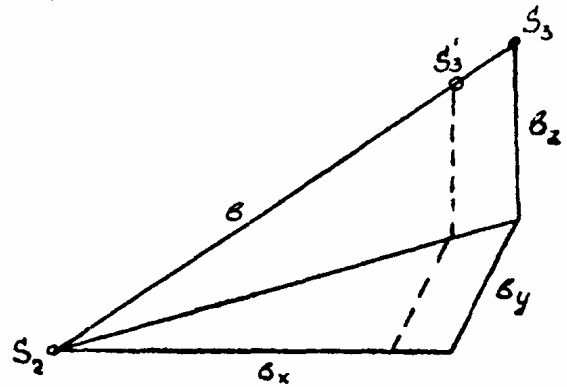


Рис. 67

В результате выполнения описанных действий мы получили сеть, имеющую один масштаб, но этот масштаб не равен заданному. Для приведения построенной модели к заданному масштабу используют геодезические точки, имеющие плановое положение на основе. Измерив расстояние между этими точками на модели  $l$  и на основе  $l_{осн}$ , вычисляют коэффициент  $k$

$$k = \frac{l}{l_{осн}}, \quad (141)$$

на который умножают значения базисных компонент всех моделей. Вычисленные значения устанавливают на приборе.

После приведения модели к заданному масштабу (масштабирования) приступают к горизонтированию, для этого необходимо иметь три точки с известными отметками. Расположение этих точек показано на рис. 68.

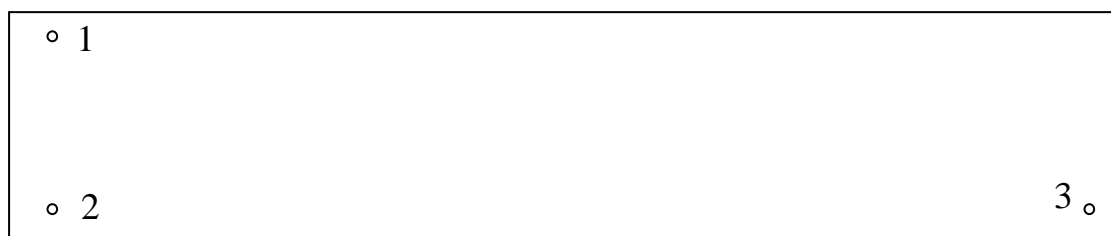


Рис. 68

При визировании на точку 1 устанавливают ее отметку, равную геодезической. Если отметки на точках 2 и 3 не равны геодезическим, то наклоняя все проекторы в поперечном и продольном направлениях, добиваются, чтобы отметки всех трех точек были равны геодезическим.

Затем выполняют измерение построенной модели, для чего последовательно наводят измерительную марку на все запроектированные точки. Во время касания маркой точки снимают отсчет со шкалы высот. Плановое положение отмечают наколом на основе.

Фотограмметрические сети можно строить и на приборах, содержащих только две проектирующих камеры. Для этой цели наиболее подходит стереопланиграф, в котором есть возможность переключать оси визирования.

При фототриангулировании на стереопланиграфе сначала выполняют взаимное ориентирование первой стереопары в базисной системе координат, затем выполняют геодезическое ориентирование и измерение построенной модели. После обработки первой стереопары левый снимок убирается, оптические оси переключают так, чтобы левым глазом можно было наблюдать правый снимок, а правым – левый снимок. В левую кассету закладывают третий снимок и выполняют взаимное ориентирование в системе координат левого снимка. По связующим точкам передается масштаб, и затем выполняют измерение построенной модели. Убирается второй снимок с правой кассеты, туда закладывается четвертый снимок, снова производится переключение визирных осей, делают взаимное ориентирование в системе координат левого снимка и т.д.

На других универсальных приборах приспособление для переключения визирных осей отсутствует. Построение сетей пространственной фототриангуляции на таких приборах выполняется в следующей последовательности.

*Подготовительные работы.* На этом этапе изготавливают диапозитивы, составляют проект построения сети, выполняют поверки приборов, изготавливают основу и др.

*Построение и измерение первой модели.* Для построения первой модели первый снимок маршрута закладывают в левый снимкодержатель, второй – в правый. Перед этим снимки тщательно центрируют в кассетах. Затем выполняют взаимное ориентирование аэроснимков в базисной системе координат. После взаимного ориентирования производят масштабирование и горизонтирование построенной модели по опорным точкам, как правило, способом последовательных приближений.

Выполнив геодезическое ориентирование, измеряют координаты и высоты точек модели, для чего наводят измерительную марку последовательно на все точки и записывают в журнал измерений отсчеты по счетчику высот. Плановое положение точек отмечают наколом на основе, помещенной на экране прибора.

В зоне тройного перекрытия выбирают связующие точки для передачи масштаба к следующему звену. Закончив измерения связующих точек, определяют величины, необходимые для ориентирования по углу  $\chi$  второго снимка, а именно, разности координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  для верхней и нижней координатных меток.

*Построение и измерение второй, третьей и т.д. моделей.* Построение и измерение второй модели выполняют в следующем порядке.

В левом снимкодержателе вместо первого аэроснимка тщательно центрируют третий. Снимают правый снимкодержатель со вторым аэроснимком и переносят его на левую каретку прибора. На шкалах коррекционных механизмов и децентраций устанавливают отсчеты, полученные для этого снимка в первой модели.

Выполняют ориентирование по углу  $\chi$  левого аэроснимка второго звена таким образом, чтобы  $\Delta x$  и  $\Delta y$  были равны разностям координат, снятым со счетчиков при обработке первой модели, вращая винт  $\chi$  левого снимка. Затем производят взаимное ориентирование в системе координат левого снимка. Вводят децентрации и повторяют взаимное ориентирование.

Вторую модель приводят к масштабу первой таким образом, чтобы отметки связующих точек были равны отметкам этих точек, полученным в первом звене. Для этого необходимо изменить базисные компоненты. Снимают отсчеты на все запроектированные точки.

Построение последующих моделей выполняют аналогично построению второй модели.

### **Обработка результатов построения**

После построения сети необходимо проверить, соответствует ли масштаб построенной сети заданному, и определить геодезические отметки запроектированных точек. Рассмотрим графоаналитический способ.

В процессе построения сети должны быть отнаблюдены не только все запроектированные точки, но и геодезические, которые имеют как плановое положение, так и высоты.

Обработку результатов наблюдений начинают с определения масштаба  $\frac{1}{m}$  по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{d}{D}, \quad (142)$$

где  $d$  – расстояние между опорными точками на модели;  $D$  – расстояние между этими же точками на местности.

Часто положение опорных точек задано на основе. В этом случае измеряют расстояние между опорными точками на основе  $d_{осн}$ , а расстояние  $D$  определяют по формуле

$$D = d_{осн} M_{осн},$$

где  $M_{осн}$  – знаменатель масштаба основы.

Если масштаб модели равен заданному, то сеть укладывают на основу, совмещают опорные точки, а все остальные перекалывают на основу. Если масштаб построенной модели не равен заданному, то полученную сеть редуцируют.

После определения масштаба все отсчеты по шкале высот умножают на знаменатель вертикального масштаба модели, в результате чего получают фотограмметрические отметки всех точек, которые не всегда равны геодезическим. Расхождение фотограмметрических и геодезических отметок вызвано грубым горизонтированием и влиянием различных ошибок: прибора, наблюдателя, обрабатываемого материала. В результате действия ошибок сеть будет деформирована. Поэтому при определении геодезических высот необходимо во все фотограмметрические отметки точек ввести поправки. Для определения величины поправок строят специальные графики, для чего необходимо иметь опорные точки. Число геодезических точек должно быть не менее пяти, расположены они должны быть по определенной схеме: две – в начале сети, две – на конце и одна – в середине (рис. 69).

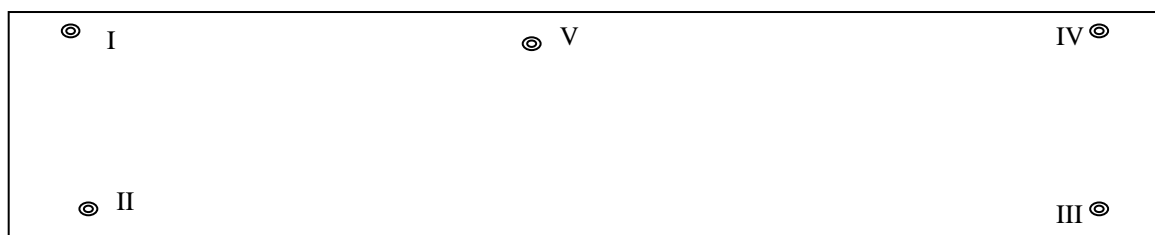


Рис. 69

Закон накопления ошибок в построенной сети фототриангуляции подчиняется зависимости

$$\delta h_{\Sigma} = AX + BY + CXY + DX^2, \quad (143)$$

где  $A, B, C, D$  – коэффициенты;  $\delta h_{\Sigma}$  – расхождения геодезических  $A_z$  и фотограмметрических  $A_{\phi}$  отметок,  $\delta h_{\Sigma} = A_z - A_{\phi}$ . Расхождения высот обу-



словлены суммарным влиянием различных факторов: ошибками снимка, прибора, наблюдателя.

Уравнение (143) можно решить аналитическим способом. Для этого на модели измеряют координаты  $X$  и  $Y$  опорных точек в системе координат модели. Начало координат выбирается произвольно. Ось  $X$  направлена параллельно линии, проходящей через центральные точки, ось  $Y$  перпендикулярна оси  $X$ . Расхождения геодезических и фотограмметрических отметок  $\delta h_{\Sigma}$  для опорных точек – величины известные. Неизвестными в выражении (143) являются коэффициенты  $A, B, C, D$ . Для их определения необходимо иметь четыре превышения между точками, т.е. должно быть задано пять опорных точек, как отмечено выше. Решая систему уравнений вида (143), для опорных точек находят неизвестные коэффициенты. Когда скоро коэффициенты определены, легко найти поправку  $\delta h_i$  для любой определяемой точки, решив уравнение (143) для этой точки.

Чаще на производстве применяют так называемый графоаналитический способ, основанный на построении графиков. Графики строят на основе анализа зависимости (143).

Две первых величины  $AX$  и  $BY$  выражают наклон фотограмметрической плоскости относительно геодезической. Наклон модели вызван погрешностями горизонтирования. Эти два члена учитываются графиком горизонтирования. Величину  $CXY$  называют кручением, учитывают построением графика кручения, а  $DX$  – прогиб, учитывается путем построения графика прогиба.

#### *Построение графика горизонтирования*

Пусть имеем маршрут построенной сети фототриангуляции, в которой кроме определяемых точек отнаблюдены пять опорных (см. рис. 69).

Для построения графика горизонтирования, который определяется формулой  $\delta h_{zop} = AX + BY$ , достаточно иметь три геодезические точки (I, II, III). Поверхность  $\delta h_{zop}$  линейна, поэтому можно проводить линейную интерполяцию по любым направлениям.

Расхождения геодезических и фотограмметрических отметок на точках I, II, III считают высотами фотограмметрической плоскости  $XY$  относительно геодезической. Полученные расхождения интерполируют по сторонам I – II, I – III, II – III (рис. 70).

Соединив точки с одинаковыми отметками, получим график поправок, представляющий собой прямые линии, параллельные между собой и проведенные через равные промежутки. Если линии графика не охватывают все отнаблюденные точки, то пользуясь свойством, что поверхность линейна, продолжают проводить линии графика через определенный интервал, пока линии графика не охватят все точки. Пользуясь графиком, вводят поправки во все точки.

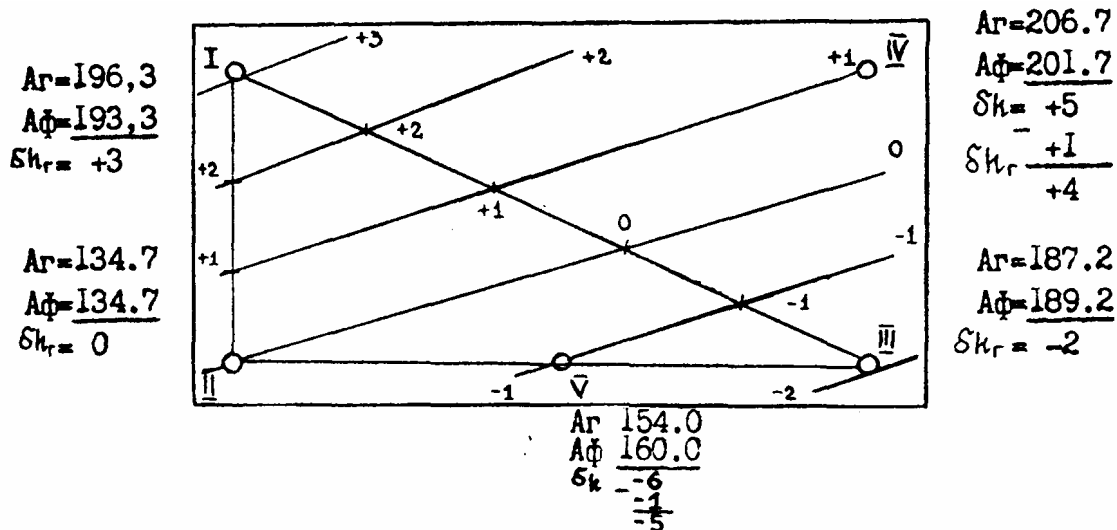


Рис. 70

### Построение графика кручения

Кручение определяется следующей величиной уравнения (143):

$$\delta h_{кр} = CXY.$$

Если предположить, что существует только кручение, то поверхность искажения  $CXY$  является гиперboloидом. Она обладает тем свойством, что линейчата вдоль направлений осей  $X$  и  $Y$  и линий, параллельных этим осям. Это свойство поверхности позволяет построить линии одинаковых поправок путем интерполирования расхождений геодезических и фотограмметрических высот на опорных точках. Интерполирование проводят вдоль линий, параллельных осям  $X$  и  $Y$ .

Для построения графика используют точку IV. Влияние погрешности горизонтирования на этой точке исключено построением графика горизонтирования и введением соответствующей поправки. Влияние прогиба отсутствует, что следует из анализа выражения (143). Следовательно, расхождение геодезической и фотограмметрической отметки этой точки вызвано только кручением.

Приняв линию I – III за ось  $X$  (рис. 71), а линию I – II за ось  $Y$ , будем иметь на этих линиях поправки, равные нулю. Интерполируем невязку на точке IV по линиям I – IV и III – IV. В результате найдем выходы кривых поправок (гипербол). Для определения других точек кривых через точки выхода гипербол на линии I – IV проведем прямые, параллельные оси  $Y$ .

Интерполируя невязки вдоль этих прямых, найдем еще ряд точек. Соединив одноименные точки плавными кривыми, получим график поправок за кручение модели.

После построения графика вводят поправки за кручение во все точки сети.

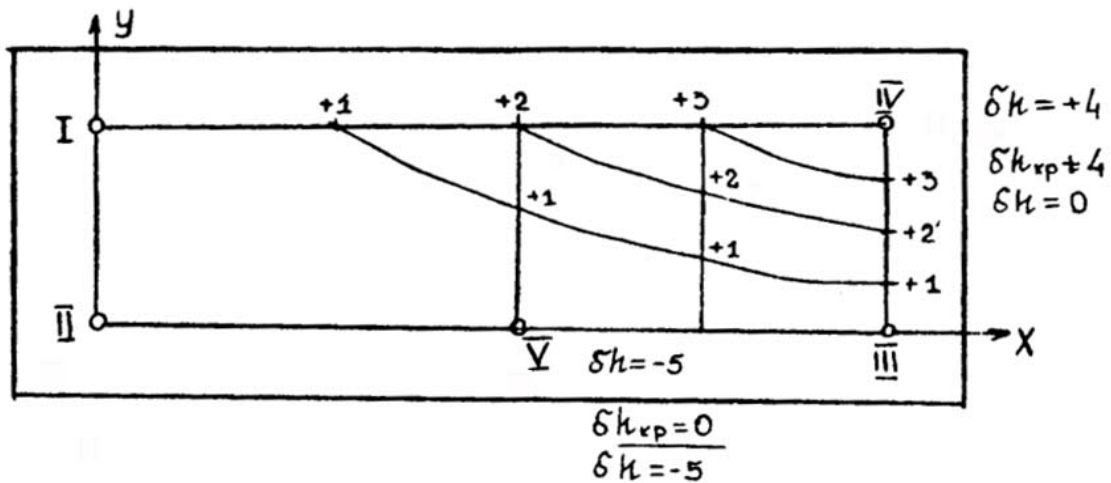


Рис. 71

### Построение графика прогиба

График прогиба строится по точке, находящейся в середине сети. Предварительно во все геодезические точки необходимо ввести поправки за горизонтирование и кручение.

Прогиб определяется зависимостью

$$\delta h_{кр} = DX^2 = DX_i(L - X_i), \quad (144)$$

где  $D$  – коэффициент;  $L$  – расстояние между точками II – III.

Поверхность искажений, представленная формулой (144), является параболическим сводом, концы которого опираются на линии I – II и III – IV. График будет представлять собой семейство линий, отражающих сечение параболического свода плоскостями, параллельными геодезическому горизонту и проведенными через равные интервалы. Чтобы построить линии поправок, воспроизводят профиль параболического свода. Для этого проведем линию  $AB$ , параллельную оси  $X$  (рис. 72).

В точках  $A$ ,  $B$  и на всей линии  $AB$  прогиб равен нулю. В точке  $V$  прогиб равен

$$\delta h_{np(V)} = Dx_V(L - x_V) = -5 \text{ м}, \quad (145)$$

т.е.  $\delta h_{np(V)}$  – величина известная, вычисленная как

$$\delta h_{np(V)} = A_2 - (A_\phi + \delta h_{гор} + \delta h_{кр}).$$

В формуле (145) неизвестным является только коэффициент  $D$ , который легко найти, решив это выражение относительно  $D$

$$D = \frac{\delta h_{np(V)}}{x_V(L - x_V)}.$$

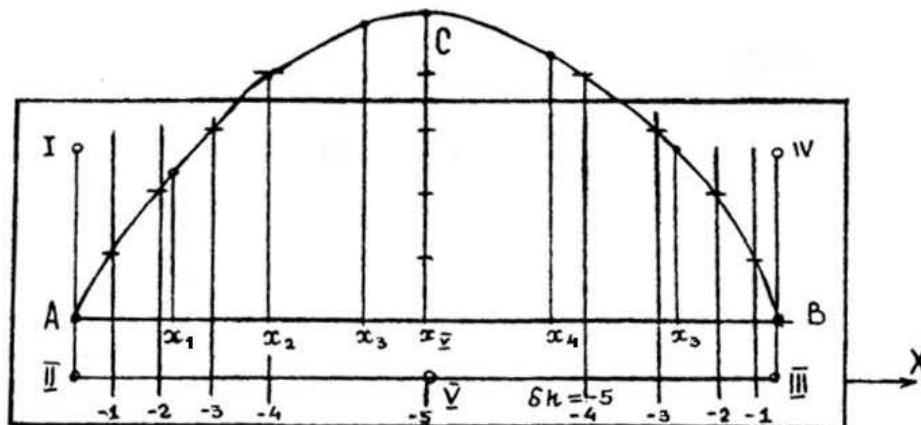


Рис. 72

Затем на линии  $AB$  выбирают произвольное число точек, например, через 2 см. Зная абсциссы для выбранных точек, по формуле (145) вычисляют величины искажений, которые откладывают перпендикулярно к линии  $AB$  в одну сторону в произвольно выбранном масштабе. Концы полученных отрезков соединяют, в результате чего должны получить профиль параболического свода.

Для получения линий графика поправок интерполируют линию  $x_V C$  и через полученные интервалы проводят прямые, параллельные  $AB$ . Там, где линии встретят профиль свода, перпендикулярно оси  $X$  проводят прямые, которые и будут являться графиком поправок.

Окончательные значения высот определяемых точек вычисляют по формуле

$$A_z = A_f + \delta h_{гор} + \delta h_{кр} + \delta h_{пр}.$$

Следует сказать, что отметки определяемых точек будут получены с большей точностью в том случае, когда опорные точки расположены строго по стандартной схеме, на что необходимо обращать внимание при полевой подготовке аэроснимков.

### Аналитическая пространственная фототриангуляция

Аналитический метод пространственной фототриангуляции с использованием ЭВМ является более точным и находит широкое применение на производстве.

Измерение снимков этим методом выполняется на стереокомпараторах или компьютерах. Все вычисления могут быть выполнены по строгим формулам практически с любой точностью на ЭВМ. При вычислениях можно широко использовать различные методы увязки результатов по способу наименьших квадратов. В аналитическом методе можно учесть все систематические ошибки, которые описываются математическими за-

висимостями. Он меньше зависит от инструментальных ошибок, так как применяется очень простой прибор (стереокомпаратор), в котором нет дополнительных решающих устройств. Этот метод более универсален, так как не накладывает ограничений на значения элементов ориентирования снимков, обладает большей производительностью, которая достигается благодаря применению ЭВМ.

Аналитическим способом строят маршрутные сети и блоки, состоящие из нескольких маршрутов. Последнее обстоятельство позволяет отказать от стандартного расположения опорных точек и сократить необходимое их число.

Существуют различные способы построения пространственных сетей фототриангуляции на ЭВМ: построение независимых моделей и соединение их в общую модель; построение частично зависимых моделей; зависимых моделей. Все перечисленные способы в чем-то повторяют построение сетей фототриангуляции на универсальных приборах, т.е. во всех способах имеют место процессы: взаимное ориентирование; приведение построенных моделей к одному масштабу; внешнее ориентирование построенной модели; исключение деформаций. Только в отличие от универсальных приборов, где при конструировании приборов реализованы приближенные формулы перечисленных этапов, в аналитической фототриангуляции используют только строгие формулы без разложения их в ряды.

Коротко рассмотрим перечисленные способы построения сетей фототриангуляции.

При построении сетей пространственной фототриангуляции по способу независимых моделей выполняют взаимное ориентирование каждой стереопары в произвольном масштабе. Отдельные стереопары не связаны между собой.

Например, в отличие от фототриангуляции на универсальных приборах, все стереопары можно взаимно сориентировать в базисной системе координат. Созданные одиночные модели соединяют в общую модель с помощью связующих точек. Затем выполняют внешнее ориентирование полученной модели и исключение деформаций.

При построении сетей фототриангуляции по способу частично зависимых моделей взаимное ориентирование выполняется в единой для маршрута системе элементов взаимного ориентирования. Однако отдельные модели имеют разные масштабы.

Приведение масштабов отдельных моделей к единому масштабу выделено в отдельный процесс, после которого выполняют внешнее ориентирование и устранение деформаций. Аналогично строят сети на мультиплексе, где сначала выполняют взаимное ориентирование по всем стереопарам, а затем остальные процессы.

При создании фототриангуляции методом зависимых моделей сеть сразу строится в единой системе и имеет один масштаб. Как и в предыдущих случаях, выполняют внешнее ориентирование и исключение деформаций. Аналогию этому способу построения сетей фототриангуляции можно найти и на универсальных приборах, например, на СПР.

Координаты точек сети вычисляют путем решения прямых засечек с концов базиса фотографирования по формулам

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= Nx_l^0 \\ \Delta Y &= Ny_l^0 \\ \Delta Z &= Nz_l^0 \end{aligned} \right\} \quad (146)$$

$$N = \frac{B_x + \frac{x_n^0}{f} B_z}{x_l^0 - x_n^0} \quad (147)$$

где  $x^0, y^0$  – трансформированные координаты точек левого и правого аэроснимков (вычисляются по формулам (27));  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  – приращение координат точек каждой модели относительно системы координат  $S_l X_l Y_l Z_l$  (рис. 73).

Координаты точек построенной сети фототриангуляции в единой системе координат определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} X &= X_{Si} + \Delta X k_i \\ Y &= Y_{Si} + \Delta Y k_i \\ Z &= Z_{Si} + \Delta Z k_i \end{aligned} \right\}, \quad (148)$$

где

$$\left. \begin{aligned} X_{Si} &= X_{S_{i-1}} + B_x k_{i-1} \\ Y_{Si} &= Y_{S_{i-1}} + B_y k_{i-1} \\ Z_{Si} &= Z_{S_{i-1}} + B_z k_{i-1} \end{aligned} \right\}, \quad (149)$$

$i$  – порядковый номер отдельной модели;  $k_i$  – масштабный коэффициент  $i$ -той модели, вычисляемый по формуле

$$k_i = \frac{\Delta Z_{i-1} - B_{z_{i-1}}}{\Delta Z_i}. \quad (150)$$

Все перечисленные способы построения сетей фототриангуляции можно считать приближенными, так как устранение деформаций построенных сетей ведется по полиномам, которые могут иметь разный вид в зависимости от программы построения сетей фототриангуляции и цели уравнивания.

Чаще всего используют полиномы вида

$$\left. \begin{aligned} \delta X &= A_0 + A_1 X + A_2 Y + A_3 XY + A_4 X^2 + A_5 Y^2 + A_6 X^2 Y + \dots \\ \delta Y &= B_0 + B_1 X + B_2 Y + B_3 XY + B_4 X^2 + B_5 Y^2 + B_6 X^2 Y + \dots \\ \delta Z &= C_0 + C_1 X + C_2 Y + C_3 XY + C_4 X^2 + C_5 Y^2 + C_6 X^2 Y + \dots \end{aligned} \right\}, \quad (151)$$

где  $A_i, B_i, C_i$  – коэффициенты;  $X, Y, Z$  – координаты точек сети;  $\delta X, \delta Y, \delta Z$  – поправки в координаты.

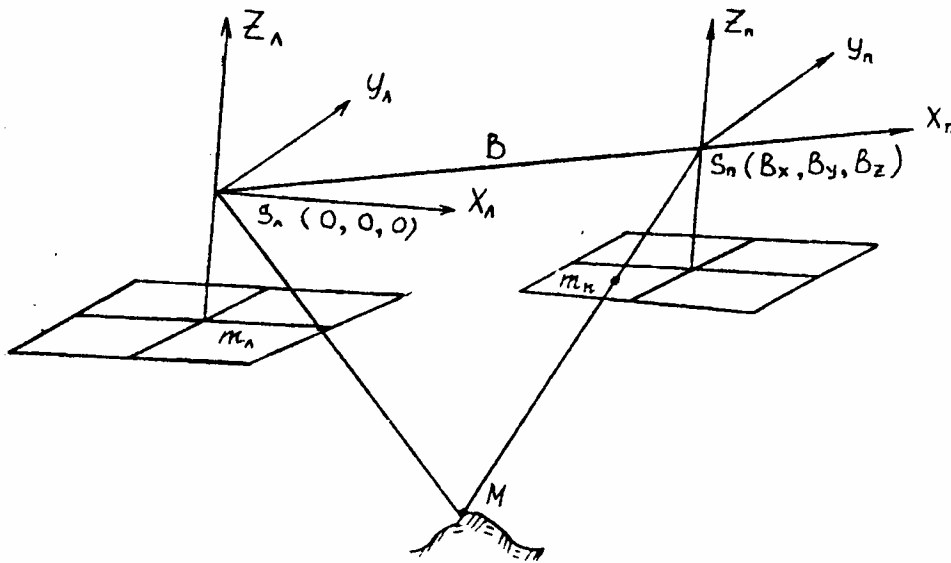


Рис. 73

Объединение в блок построенных маршрутов выполняют по связующим точкам, расположенным в межмаршрутном перекрытии.

Наиболее перспективным является строгий способ пространственной фототриангуляции. Этим способом можно строить как маршрутные, так и блочные сети.

В качестве исходной единицы в строгом способе построения сетей фототриангуляции принята одиночная связка. В этом случае легко включать в уравнивание геодезические измерения, элементы внешнего ориентирования, полученные по показаниям бортовых приборов и другую информацию.

Строгий способ основан на применении уравнений связи между координатами точек местности и снимка, которые выражают требование одновременного прохождения прямой через три точки: центр фотографирования, точку местности и ее изображение на снимке (т.е. условие коллинеарности):

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}; \\ y &= -f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}. \end{aligned} \quad (152)$$

Для каждой точки можно записать два уравнения вида (152), в которых неизвестными являются координаты точек местности  $X, Y, Z$ ; координаты центров фотографирования  $X_S, Y_S, Z_S$  и угловые элементы внешнего ориентирования снимка  $\alpha, \omega, \chi$ , входящие в направляющие косинусы  $a_i, b_i, c_i$ .

Если известны приближенные значения элементов внешнего ориентирования снимков и координат определяемых точек сети, то так как система уравнений (152) является нелинейной относительно искомым параметров, наиболее эффективными методами решения таких систем в фотограмметрических задачах являются методы, основанные на их линеаризации. Из решения линейной системы уравнений определяют поправки к приближенным параметрам. Уравнения поправок имеют вид

$$\left. \begin{aligned} a\delta X_S + b\delta Y_S + c\delta Z_S + d\delta\alpha + e\delta\omega + f\delta\chi - a\delta X - b\delta Y - c\delta Z + l &= \vartheta \\ a'\delta X_S + b'\delta Y_S + c'\delta Z_S + d'\delta\alpha + e'\delta\omega + f'\delta\chi - a'\delta X - b'\delta Y - c'\delta Z + l' &= \vartheta \end{aligned} \right\}, \quad (153)$$

где коэффициенты  $a, b, \dots, f$  являются частными производными от функций (152) по соответствующим параметрам, а именно

$$a = \frac{\partial x}{\partial X_S}, \quad b = \frac{\partial x}{\partial Y_S}, \dots, \quad f = \frac{\partial x}{\partial \chi}.$$

Для вычисления коэффициентов уравнений поправок используют плоские координаты  $x, y$  точек снимка, которые определяют по измерениям на стереокомпараторе с учетом мест нулей, поправок за атмосферную рефракцию, деформацию фильма и т.д.

Свободные члены  $l$  и  $l'$  вычисляют по вычисленным по формуле (152) координатам  $(x), (y)$  и определенным на стереокомпараторе  $x, y$

$$l = (x) - x, \quad l' = (y) - y.$$

В матричной форме система уравнений поправок для одного снимка будет иметь вид

$$A_1 X_1 + L_1 = V_1, \quad (154)$$

где

$$A_1 = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 & e_1 & f_1 & -a_1 & -b_1 & -c_1 \\ a'_1 & b'_1 & c'_1 & d'_1 & e'_1 & f'_1 & -a'_1 & -b'_1 & -c'_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a'_n & b'_n & c'_n & d'_n & e'_n & f'_n & -a'_n & -b'_n & -c'_n \end{vmatrix}$$



$$X_1 = \begin{vmatrix} \delta X_s \\ \delta X_s \\ \delta X_s \\ \delta \alpha \\ \delta \omega \\ \delta \chi \\ \delta X_1 \\ \delta Y_1 \\ \delta Z_1 \\ \dots \\ \delta X_n \\ \delta X_n \\ \delta X_n \end{vmatrix} \quad L_1 = \begin{vmatrix} \ell_1 \\ \ell'_1 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \ell_n \\ \ell'_n \end{vmatrix} \quad V_1 = \begin{vmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta'_1 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \vartheta_n \\ \vartheta'_n \end{vmatrix}$$

Блок может состоять из произвольного числа снимков. Запишем матрицу уравнений поправок для блока, состоящего из любого количества снимков:

$$\begin{vmatrix} A_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & A_n \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_k \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \dots \\ L_k \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_k \end{vmatrix} \quad (155)$$

или в общем виде

$$AX + L = V. \quad (156)$$

При включении в уравнение вспомогательных данных (показаний бортовых приборов, геодезических измерений и др.) необходимо составить дополнительно уравнения поправок для вспомогательной, информации.

Задача строгого уравнения блочной фототриангуляции сводится к решению больших систем уравнений прямыми либо итеративными методами.

Итеративные методы позволяют использовать исходную матрицу частных производных  $A$ , не преобразуя ее в процессе решения. Основной вычислительной операцией является умножение матрицы на вектор. Такое умножение легко реализуется. Однако итеративные методы не позволяют произвести обоснованную оценку точности окончательных результатов, кроме того, использование итеративных методов связано с проблемой сходимости процесса приближений, так как в фотограмметрии приходится иметь дело с плохо обусловленными системами уравнений.

Прямые методы имеют следующие преимущества по сравнению с итеративными:

1. Возможность обоснованной оценки точности построений параллельно с решением основной задачи – уравнением сети.

2. Значительно меньший объем операций, не зависящий от степени обусловленности системы.

Однако при использовании прямых методов требуется гораздо большая память по сравнению с итеративными методами, и изменение числа и расположения точек сети приводит к изменению структуры матрицы нормальных уравнений, что существенно усложняет решение системы.

Прямые методы основаны на составлении нормальных уравнений, которые имеют вид

$$A^T PAX + A^T PL = 0, \quad (157)$$

где  $P$  – весовая матрица измеренных величин. Уравнение (157) можно представить в виде

$$BX + CL = 0. \quad (158)$$

Решением системы уравнений (158) будет

$$X = B^{-1}CL. \quad (159)$$

## 10. МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ПЛАНОВ

### Методы создания топографических карт и планов

Подробно этот вопрос рассматривается при выполнении курсовой работы, поэтому остановимся только на основных положениях.

Аэрофототопографические методы создания карт и планов широко применяются на производстве. Создание карт можно выполнить комбинированным или стереотопографическим способами по одной из следующих технологических схем:

1) контурная часть плана создается на основе фотопланов, а рельеф зарисовывается в поле приемами мензуральной съемки;

2) контурная часть плана создается на основе фотоплана, а съемка рельефа ведется на фотограмметрических приборах;

3) контурная часть плана и съемка рельефа выполняются на фотограмметрических приборах.

Точность создаваемой карты должна соответствовать установленному стандарту. При этом объем полевых и камеральных работ должен быть наименьшим. Чтобы обеспечить заданную точность определения координат при минимальном объеме работ, необходимо правильно выбрать основные параметры аэросъемки: высоту фотографирования  $H$ , величину фокусного расстояния аэрофотоаппарата  $f$  и масштаб фотографирования  $1/m$ .

Для дешифрирования и создания фотопланов целесообразно использовать аэрофотоаппараты (АФА) с большим фокусным расстоянием ( $f = 200, 350$  или  $500$  мм).

Аэроснимки, полученные таким АФА, будут иметь лучшее фотокачество и трансформирование их будет вестись при меньшем числе зон.

Для рисовки рельефа на универсальных приборах целесообразно применять снимки, полученные АФА с малым фокусным расстоянием ( $f = 70, 100$  или  $140$  мм). Чем меньше фокусное расстояние АФА, тем с большей точностью будет зарисован рельеф.

Ориентирование снимков на приборе ведется по опорным точкам, координаты которых можно определить в поле геодезическими методами, однако чаще положение опорных точек получают в результате построения сетей фототриангуляции. В поле определяют небольшое число точек для ориентирования сетей фототриангуляции. Эти точки называют опознаками и они должны хорошо опознаваться на аэроснимках. Если на местности мало контуров, которые легко опознаются на снимках, то до выполнения аэрофотосъемки опознаки маркируют.

Расстояние между опознаками зависит от применяемого способа фотограмметрического сгущения, масштаба создаваемой карты и высоты сечения рельефа. Это расстояние задано в действующих инструкциях, однако на производстве расстояние между опознаками чаще не соответствует предложенным инструкцией. Кроме того, в инструкциях эти расстояния заданы в километрах на местности или сантиметрах на плане, что вызывает неудобства при проектировании опознаков. Расстояние между опознаками на производстве рассчитывают в числе базисов фотографирования  $n$  между ними. Проверка данных инструкции показывает, что в большинстве случаев эти данные не обоснованы. Многие авторы рекомендуют рассчитывать расстояние между опознаками по формулам предрасчета точности построения сетей фототриангуляции, которые, к сожалению, не дают однозначных результатов.

Расстояния между опознаками, близкие к задаваемым на производстве, можно вычислить по формулам

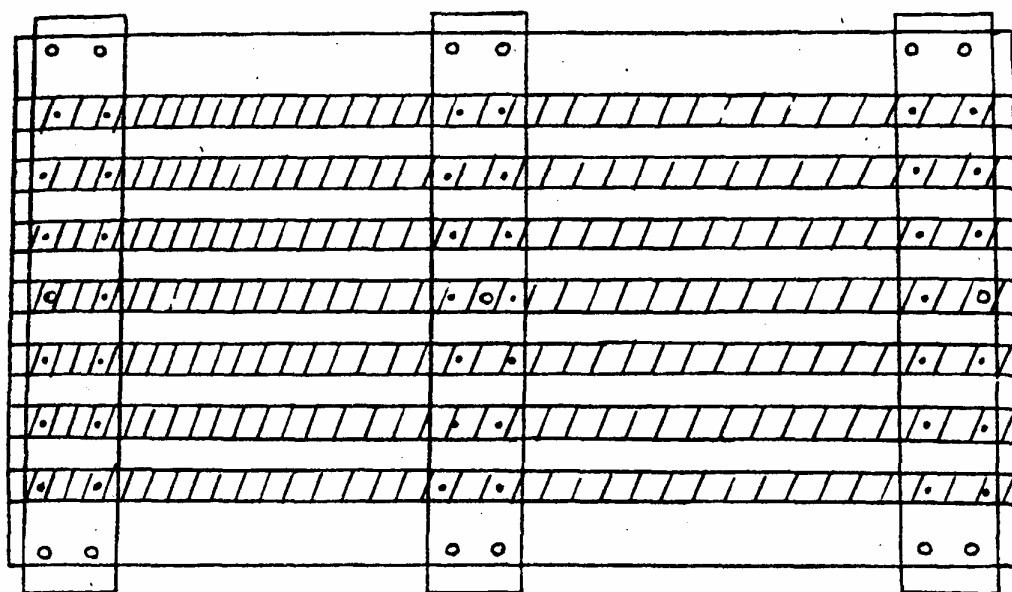
$$n_{nl}\sqrt{n_{nl}+3} = \frac{M_d}{c_\alpha H f m_q}; \quad (160)$$

$$n_g\sqrt{n_g+3} = \frac{M_z}{c_z H f^2 m_q}, \quad (161)$$

где  $n_{nl}, n_g$  – расстояние в базисах фотографирования между плановыми и высотными опознаками соответственно;  $M_d, M_z$  – средние квадратические ошибки планового и высотного положения точек, расположенных в середине сети;  $c_\alpha, c_z$  – коэффициенты, зависящие от величины фокусного расстояния  $f$  аэрофотоаппарата;  $H$  – высота фотографирования;  $m_q$  – средняя квадратическая ошибка определения поперечных параллакс.

В малоконтурной или труднодоступной местности (тундры, пустыни, высокогорные районы), где сложно определить опознаки, через рас-

четное число базисов фотографирования прокладывают каркасные маршруты, как показано на рис. 74.



- /// — межмаршрутные перекрытия;
- — опознаки;
- — точки сгущения.

Рис. 74

Опознаки для привязки каркасных маршрутов, как правило, маркируют. Их определяют геодезическими методами, а в районах высоких гор положение опознаков можно получить методом фототеодолитной съемки. Вначале выполняют сгущение по каркасным маршрутам, а полученные точки сгущения используют в качестве опорных точек для построения сетей фототриангуляции по заполняющим маршрутам.

Создание фотопланов и работа на универсальных приборах ведется по общепринятой методике.

### Обновление топографических карт

С течением времени на местности происходят изменения: строят новые дороги, населенные пункты и т.д., изменяется и рельеф. Изменения происходят главным образом под влиянием деятельности человека. Причем значительные изменения происходят в основном в ситуации. Рельеф изменяется редко и на небольших участках. Поэтому если возникают затруднения в применении карт для решения хозяйственных, инженерных и других задач, их необходимо обновлять. Обычно на обжитые районы карты обновляют через 6 – 8 лет, а на остальные – через 10 – 15 лет. Содержание, точность и оформление обновляемой карты должны соответствовать

всем требованиям наставлений и руководств по топографическим работам. После создания карты проводят работы, которые включают сбор и систематизацию материалов картографического значения на данный район.

Возникшие изменения на местности наносят на дежурные карты по собранным материалам путем копирования, оптического проектирования, пантографирования или с помощью пропорционального циркуля. Новые объекты, полученные и нанесенные с требуемой точностью, вычерчивают на дежурной карте красной тушью, а изменившиеся объекты удаляют. Сомнительные объекты наносят карандашом и в дальнейшем проверяют по более точным данным.

Для решения ряда задач различных ведомств фотокопия дежурной карты может быть принята за обновленную карту, хотя материалы ведомственных съемок не всегда обеспечивают полное обновление на все изменения.

Решение об обновлении топографических карт того или иного участка принимается на основе имеющихся данных об изменениях на местности. Карта пригодна для обновления, если положение сохранившихся прежних контуров изменилось не более чем на 0,6 мм для равнинных и всхолмленных районов и 1,0 мм – для горных и пустынных районов, а расхождения высот, подписанных на карте, не превышают величин, указанных в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Районы обновления	Допустимые расхождения высот (м), подписанные на карте		
		1:10000	1:25000	1:50000
1.	Плоскоравнинные, высота сечения рельефа 1 м	0,4	–	–
2.	Плоскоравнинные, высота сечения рельефа 2,0 м или 2,5 м	1,2	1,2	–
3.	Равнинные, пересеченные и всхолмленные с преобладающими углами наклона до 6°	1,2	2,4	4,5
4.	Горные и предгорные, песчаные пустыни	3,8	3,8	6,5
5.	Высокогорные	–	7,5	13,0

Если указанные допуски превышены, то соответствующие участки карты должны быть сняты вновь. Кроме того, карта должна создаваться заново и в случаях если:

- 1) точность планово-высотной основы карты и качество выполненной съемки не соответствуют требованиям инструкций;
- 2) произошли большие изменения контуров или рельефа и нельзя получить плановые или высотные точки в ходе построения сетей фототриангуляции.

Существуют три способа обновления карт:

- 1) путем выполнения мензульной съемки;

2) по картам более крупного масштаба;

3) по материалам аэрофотосъемки.

Мензуральная съемка применяется очень редко, когда нельзя выполнить аэросъемку. По картам более крупного масштаба выполняют обновление на участках, где недавно получены картографические материалы, причем таким способом обновляют, как правило, мелкомасштабные карты (1:10000 и мельче). Картографические способы обновления будут рассмотрены в дисциплине «Картография».

Основным является метод обновления карт по аэроснимкам. В зависимости от рельефа местности, насыщенности контуров, количества и характера изменений выделяют три основных способа обновления топографических карт по материалам аэросъемки:

1. Обновление карты на основе нового фотоплана.

2. Исправление по аэроснимкам копии оригинала карты на прозрачном пластике.

3. Исправление копии оригинала карты по модели местности, построенной на универсальном стереофотограмметрическом приборе.

Обновление карт на основе новых фотопланов применяется в равнинных и всхолмленных районах, когда при значительной контурной нагрузке изменения на местности превышают 30 – 40 % от общего числа контуров и объектов.

Обновление карт путем исправления копии оригинала карты на прозрачной основе применяется, когда количество измененных контуров меньше 30 – 40 %, когда вычерчивание на копии карты новых элементов и удаление утраченных менее трудоемко, чем вычерчивание всей ситуации на новом фотоплане.

Обновление карт по модели местности на универсальных приборах применяется для горных районов.

Во всех случаях обновления карт по аэроснимкам должны быть выполнены работы, показанные на рис. 75.

Аэросъемка может предшествовать составлению проекта, когда нет достаточных сведений об изменениях на местности.

Коротко рассмотрим все перечисленные процессы.

На участок, подлежащий обновлению, составляют технический проект. Методика проектирования различных процессов обновления такая же, как и при создании топографических карт.

Аэросъемка выполняется не более чем за год до начала камеральных работ по обновлению карт. Требования, предъявляемые к материалам аэросъемки, такие же, как и при создании топографических карт.

На этапе «Подготовительные работы» собирают и систематизируют материалы, необходимые для обновления карт и полученные после создания обновляемой карты. Выясняют характер изменений, происшедших на местности.

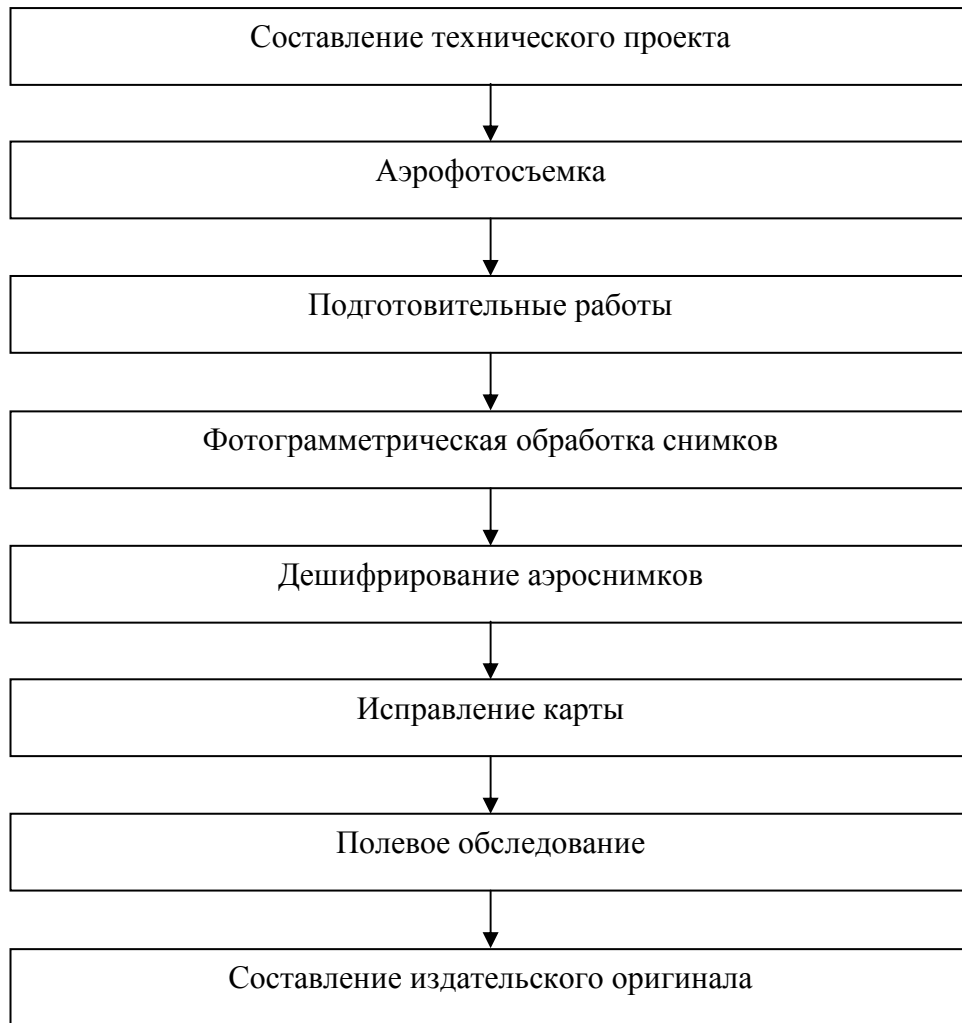


Рис. 75

Анализ объема и характера изменений местности выполняется по материалам новой аэрофотосъемки и проводится по каждому листу карты с целью уточнения технологии обновления, определений участков с изменениями рельефа, выявления листов карты, не требующих обновления, и участков, требующих проведения новой стереотопографической съемки. Этот анализ проводится путем стереоскопического просмотра новых аэроснимков и детального сличения их с картой и со старыми аэроснимками на всей площади участка работ.

На основе технического проекта разрабатывают рабочий проект, где учитывают результаты изменений на местности.

Фотограмметрическая обработка аэроснимков включает построение сетей фототриангуляции, трансформирование снимков и создание фотопланов.

Сети фототриангуляции строят для проверки точности обновляемой карты, если материалы более поздних топографических съемок отсутству-

ют, и с целью определения опорных точек для трансформирования аэро-снимков и монтажа фотопланов, а также для масштабирования и ориентирования модели на универсальных приборах при малом количестве сохранившихся контуров. Фотограмметрическое сгущение не выполняется, если на обновляемой карте много сохранившихся контурных точек, которые можно использовать в качестве опорных.

Геодезической основой для ориентирования сетей фототриангуляции служат точки полевой подготовки снимков первоначального залета, опознающиеся на снимках нового залета. В случаях, когда материалы полевой привязки не сохранились или количества имеющихся опорных точек недостаточно для фотограмметрического сгущения, в качестве дополнительной опоры можно использовать трансформационные точки или сохранившиеся четкие контурные точки старого фотоплана (карты). При использовании контурных точек фотоплана или карты в качестве опорных протяженность сетей сокращается вдвое по сравнению с расчетной. Так как опознать все точки с необходимой точностью практически невозможно, то в ряде случаев, чтобы не снизить точности карты, выполняют новую полевую подготовку.

Фотограмметрическое сгущение высотного обоснования выполняется на участках, где изменение рельефа имеется на нескольких стереопарах маршрута. Высотным обоснованием служат опознаки и точки, высоты которых подписаны на карте и расположены в местах, где рельеф не изменился.

В равнинных районах со значительными изменениями ситуации плановая часть карты создается заново путем изготовления фотопланов. Трансформирование снимков и изготовление фотопланов выполняется по общепринятой технологии.

При исправлении копии карты на прозрачной основе также необходимо выполнить трансформирование аэроснимков. Однако фотоплан в этом случае не изготавливают. Иногда производят только масштабирование аэроснимков.

Приведение аэроснимков к масштабу карты без трансформирования может допускаться, когда перспективные искажения  $\delta\alpha_{\text{дон}} \leq 0,3$  мм.

Допустимые при этом углы наклона аэроснимков рассчитывают по формуле

$$\alpha_{\text{дон}} = \frac{f\rho}{kr^2} \delta\alpha_{\text{дон}}, \quad (162)$$

где  $k = m/M$  – коэффициент трансформирования;  $r$  – расстояние от центральной точки до границы рабочей площади аэроснимка ( $r = 80$  мм).

Такое приведение аэроснимков к масштабу карты без трансформирования возможно при углах наклона менее  $30'$  и  $f \geq 140$  мм. В этом случае,



аэросъемка должна быть выполнена с применением гиостабилизирующей установки. Масштабирование аэроснимков следует выполнять при горизонтальном экране фототрансформатора или проектора по 6 – 8 контурным точкам, расположенным вблизи углов рабочей площади аэроснимка и по середине. В положение точек вводят поправки за рельеф. Если искажения за рельеф превышают допустимую величину, то масштабирование аэроснимков должно выполняться по зонам. Для учета деформации полученного аэроснимка используют подложку.

Дешифрирование аэроснимков при обновлении топографических карт выполняется, как правило, камерально с последующим полевым обследованием, так как имеющиеся материалы о местности (карты, аэроснимки, ведомственные материалы картографического значения) обеспечивают возможность камерального распознавания контуров. Объекты, не поддающиеся дешифрированию или отдешифрированные неуверенно, переносятся на восковку для уточнения в ходе полевого обследования.

На участках, где произошли очень большие изменения мелких объектов, а также в районах нефте- и газоразработок, где имеется много показываемых на карте подземных коммуникаций, производится сплошное полевое дешифрирование.

Дешифрирование выполняют на фотоплане, если предусмотрен фотоплан, или на снимках, если создание фотоплана не предусмотрено. Результаты дешифрирования вычерчивают в соответствии с условными знаками.

Исправление оригинала карты, как уже было отмечено, может выполняться тремя способами. Коротко рассмотрим их.

При исправлении карты на основе новых фотопланов после изготовления фотоплана с него изготавливают светокпию на матовой или полуматовой бумаге, на которую производится печать изображения рельефа с оригинала обновляемой карты. Фотоплан дешифрируют и вычерчивают контура в соответствии с условными знаками.

При исправлении копии оригинала карты на прозрачной основе с карты, предназначенной для обновления, изготавливают копию на прозрачном пластике. Под копию подкладывают трансформированный или масштабированный аэроснимок, ориентируют его по общим контурам карты или по точкам фотограмметрического сгущения. Число течек должно быть не менее 4 – 8. Средние расхождения не должны превышать 0,5 мм. После ориентирования аэроснимка проводят тщательное сравнение контуров на снимке и карте для выявления изменений ситуации. Изменившиеся и вновь появившиеся контуры дешифрируют и переносят на копию карты. Исчезнувшие контуры удаляют. При исправлении карты проверяют положение неизменившихся контуров. Если контура на карте не совпадают с их

положением на аэроснимке более чем на 0,8 мм, то их исправляют по аэро-снимку.

Исправление копии оригинала карты можно выполнить на универсальном топографическом проекторе УТП-2. Проектор позволяет получать изображение по аэроснимкам, фотопланам или по картографическим материалам на копии оригинала карты, приводить изображение к масштабу карты и, если необходимо, трансформировать снимки по точкам фототриангуляционного сгущения. После ориентирования изображения по общим контурам выявляют изменения и переносят их на копию карты.

Обновление карт горных районов по модели местности на универсальных стереофотограмметрических приборах обычно производится на копиях оригиналов карт, изготовленных на жесткой основе. Для исправления карты выполняют взаимное и внешнее ориентирование аэроснимков. Для масштабирования и горизонтирования используют четкие контурные точки, а если их недостаточно, то точки фотограмметрического сгущения. После ориентирования модели производят исправление по ней копии карты.

Если имеются изменения рельефа, то его необходимо исправить по новым аэроснимкам путем стереоскопической съемки на универсальных приборах. Ориентирование стереопар необходимо выполнить по высотным опознакам, по точкам, высоты которых подписаны на карте, или по точкам фотограмметрического сгущения. Число опорных точек должно быть не менее 6 – 8 на стереопару.

Полевое обследование выполняется для уточнения объектов, отдешифрированных неуверенно, досъемки объектов, не изобразившихся на аэро-снимках или появившихся после выполнения аэросъемки, проверки и дополнения характеристик и названий, контроля результатов камеральных работ.

Результаты обновления вычерчивают в действующих условных знаках.

## ЧАСТЬ 3

### 11. МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ

#### Представление топографических карт и аэроснимков в растровой форме

Картографические материалы в электронном виде подразделяются на *растровые* и *векторные* данные, а также данные в других формах представления (в форматах неграфических баз данных). К растровым материалам принадлежат файлы, полученные путем сканирования исходных материалов или иным путем (манипуляциями с имеющимися растрами, растеризацией) и сохраненные в одном из растровых форматов. Список наиболее часто используемых:

- CCITT Group 4 (\*.cit)
- RLE (\*.rle)
- TIFF CCITT Group 4 и TIFF CCITT Group 3 (\*.tif)
- TIFF Packbits (\*.tif)
- TIFF LZW (\*.tif)
- RLC (\*.rlc)
- PCX (\*.pcx)

Исходными данными для растровых файлов служат материалы в традиционном виде – карты, планы, схемы, космические и аэрофотоснимки на жесткой основе (планшете) или на графической копии (бумаге и т.п.) Способ представления информации в растровом файле – пиксельный (точечный), т.е. изображение составлено из наборов точек (в виде рядов и колонок), где известен цвет (оттенок) для каждой точки. Растровые файлы могут быть бинарными (черно-белыми), полутоновыми (оттенки серого между черным и белым) и цветными с разным количеством битов, используемых для передачи цвета. Основными характеристиками растрового файла являются плотность сканирования, измеряемая обычно в точках на дюйм или сантиметр, файловый формат, размер в байтах (кило-, мегабайтах).

При растровой форме представления элементарными пространственными объектами являются ячейки растра (сетки, образуемой расчленением пространства листа карты некоторым формальным образом, чаще всего на ячейки прямоугольной, чаще квадратной формы), всегда имеющие некоторую площадь. На основе элементарных ячеек более сложные объекты строятся их комбинированием. Растровый формат данных представляется матрицей прямоугольных элементов, организованных по рядам и колонкам. В растровом формате не сохраняются контура объектов. Точечные объекты перестают быть просто «точками», а представляются прямоугольными ячейками, которые содержат в себе эти точки. Линейные и

площадные объекты также очерчиваются набором ячеек растра, и их границы, в общем случае, также не совпадают полностью с исходными.

В растровой координатной системе пространственные географические данные, относящиеся к определенному району, распределяются по всему набору одинаковых по форме ячеек, составляющих этот район. Ячейки организованы так, что каждая из них имеет соседа из колонки или ряда. Все вместе они определяют матрицу. Ряд – группа ячеек, которые соседствуют по горизонтали (или в направлении оси  $X$ ); колонка – группа ячеек, которые соседствуют по вертикали (или в направлении оси  $Y$ ). Это надо учитывать при определении размерности матрицы. Таким образом, каждая ячейка однозначно определяется заданием ряда и колонки. Ширина ячейки растра измеряется вдоль оси  $X$ , а ее высота – по оси  $Y$ . В системе координат растрового представления данных существует точка отсчета, которая в различных системах может находиться либо в верхнем левом углу экрана (что встречается чаще всего), либо в нижнем левом углу.

Наиболее часто в растровом формате обрабатывается информация, полученная в результате аэрокосмической съемки, что обусловлено характером как самой информации, так и технологией ее получения, передачи и обработки. В последнее время все чаще используются технологии получения и обработки растровых цифровых карт по традиционным картографическим материалам, однако полной автоматизации в них добиться не удастся и на данный момент в общем случае трудоемкость работы по «растровой» и «векторной» технологии примерно равны.

Нельзя не остановиться на ограничениях в применении некоторых форматов. Это связано с использованием в некоторых из них (JPEG, MPEG, некоторые подтипы других форматов) приемов упаковки изображений с потерями информации. Упомянутые методы упаковки обычно ориентированы на фотографические изображения и позволяют уменьшать объем файлов в сотни (а иногда в тысячи) раз. При определенных условиях упакованные изображения практически неотличимы от исходных при восприятии человеческим глазом. Тем не менее, потери геометрических элементов и цветовой информации не позволяют применять их ни при подготовке материалов для печати, ни при хранении данных дистанционного зондирования. Методы упаковки без потерь, которые используются в форматах PCX, GIF, подтипах TIFF облегчают работу, значительно сокращая размеры файлов.

Из всего списка растровых форматов (BMP, DIB, PCX, TIFF, SunRaster, GIF, BIL, BIP, JPEG, MPEG, TGA и др.) наибольший интерес представляет TIFF (Tagged Image File Format). Это наиболее развитый по структуре формат, спецификация которого хорошо проработана и который представляет наиболее гибкие возможности по передаче растровых изображений и связанной с ними информации. Важным преимуществом фор-

мата TIFF является открытость его спецификации и отсутствие каких-либо патентных ограничений.

В результате внедрения формата потребители растровой географической информации смогут получать изображения, не требующие операции пространственной привязки. Например, по команде отображения космический снимок появится на экране в нужном положении и месте на векторной карте из географической информационной системы. Внутри самого файла будет храниться положение изображения в реальных координатах и описание картографической проекции. Само изображение должно быть преобразовано к одной из поддерживаемых проекций. На первой фазе проекта стандарт будет охватывать наиболее распространенные проекции, такие как UTM, State Plane, British Ordnance и Гауса-Крюгера. В дальнейшем предполагается расширить спецификацию для поддержки практически любой системы географических координат.

### **Представление топографических карт в векторной форме**

Векторные материалы, в отличие от растровых, представлены элементарно, т.е. геометрическими примитивами различных типов (точками, линиями, полигонами и др.), положение, форма и размер которых описываются координатами. Каждый элемент (примитив) имеет соответствующие графические атрибуты, среди которых важнейшими являются слой или уровень, а также средства визуализации – цвет, стиль (тип), толщина линии и другие. Исходными данными для векторных форматов являются: растровые файлы, материалы полевых съемок, планы и карты на жесткой основе. Отличительной особенностью векторного представления данных является возможность привязки к отдельным элементам семантической информации, в результате чего появляется возможность построения запросов, т.е. поиска и выборки на основе имеющейся семантической или графической информации. Над векторными данными возможно выполнение операций топологического, сетевого и других видов анализа. На основе векторных данных могут строиться цифровые модели местности (ЦММ). Наиболее распространенные векторные форматы: DXF, DWG, DGN, MapInfo, (Mif/Mid). Другие векторные форматы: CGM, Shape-файл, IGES, ASCII форматы, SVF.

### **Структура цифровой карты**

*Объекты цифровой карты – точки, линии, полигоны*

При цифровании карты выделяется 3 типа объектов, к которым можно отнести любой из имеющихся на исходной карте:

- точечный объект – отдельная пара координат  $X$ ,  $Y$ . Определяет объект, локализованный в пункте, чьи размеры слишком малы, чтобы

можно было отразить его форму (границы, площадь) в масштабе карты. Может также представлять некий условный объект, не имеющий размеров, например, отметку высот;

- линейный объект – объект, локализованный в виде линии, чья ширина не выражается в масштабе карты-источника (река, дорога и т.д.). Может также представлять некий условный объект, не имеющий размеров, например, границу;

- полигональный объект – объект, имеющий площадь, выражающуюся в масштабе карты-источника. Определяется замкнутой границей и определяемой ею внутренней областью, например, лес, озеро.

При переводе карты в цифровую форму объекты абстрагируются от своей тематической сущности (географической или геологической, например), и работа с ними, как с пространственными объектами в электронной среде, проводится, опираясь на следующие определения (рис. 1):

- точка – пара координат  $X, Y$ ;
- отрезок – линия, соединяющая две точки;
- вершина (вертекс) – начальная или конечная точка отрезка;
- дуга (линия) – упорядоченный набор связанных отрезков (или вершин);

- замкнутая дуга – дуга, у которой совпадает начальная и конечная вершины;

- полигон – замкнутая дуга либо упорядоченный набор связанных дуг, которые образуют замкнутую область, и ограниченная ими внутренняя область;

- слой – покрытие, рассматриваемое в контексте его содержательной определенности (растительность, рельеф, административное деление и т.п.) или его статуса в среде редактора (активный слой, пассивный слой);

- элементы дуги (линии): вершины, узлы (висячие, псевдо-, нормальные).

Дуга состоит из следующих элементов: вершина, узел, внутренняя точка отрезка:

- вершина (вертекс) – начальная или конечная точка отрезка;
- узел – начальная или конечная вершина дуги;
- висячий узел – узел, принадлежащий только одной дуге, у которой начальная и конечная вершины не совпадают. Дуга, имеющая висячий узел, называется висячей дугой;

- псевдоузел – узел, принадлежащий только двум дугам либо одной дуге, у которой начальная и конечная вершины совпадают в этом узле;

- нормальный узел – узел, принадлежащий трем и более дугам;

- внутренняя точка отрезка – воображаемая точка отрезка дуги, не являющаяся ни вершиной, ни узлом.

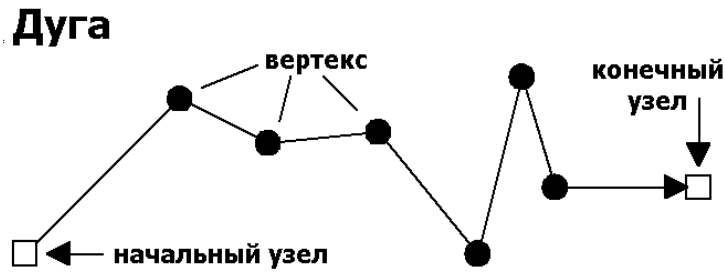


Рис.1

### *Многослойная структура цифровой карты*

Ядром картографической подсистемы, использующей цифровые векторные карты, является многослойная структура карт (для одной и той же территории или иерархии территорий), над которыми должны выполняться операции сквозного поиска, наложения с созданием производных цифровых карт и сохранением связи идентификаторов объектов исходных и производных карт и др. Для поддержки этих операций к топологической структуре цифровых карт в ГИС предъявляются требования, значительно более жесткие чем, например, к картам, которые используются для решения задач автоматизированного картографирования, обеспечения навигации и др. Это связано с тем, что часто контура (части контуров) объектов с разных карт должны быть строго согласованы. Но при практическом цифровании, несмотря на достаточно точное цифрование исходных карт по отдельности, это согласование не достигается, и при наложении цифровых карт, вследствие «биения» соответствующих линий, образуются ложные полигоны и дуги (рис. 2).

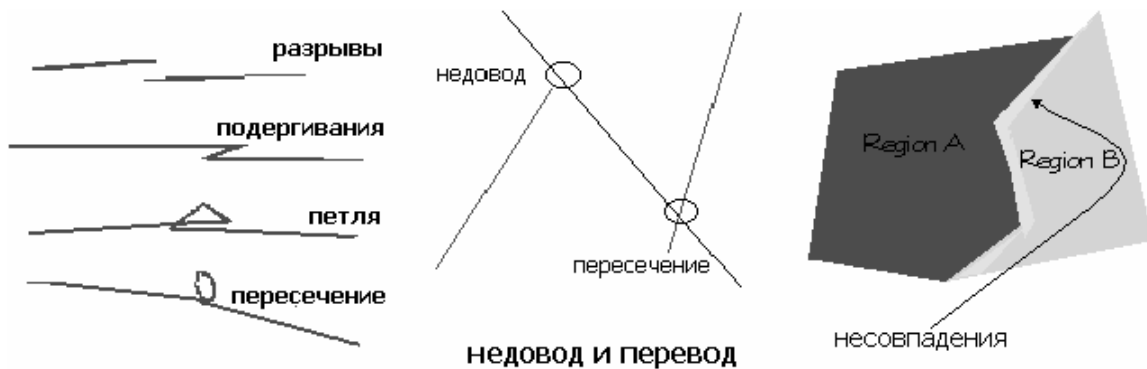


Рис. 2

Несовпадения могут быть визуально неразличимы до определенного масштаба увеличения, что вполне допустимо для задач автоматизированного картографирования, имеющих, в общем случае, конечной целью создание традиционной карты (фиксированного масштаба) с помощью средств автоматизации, и совершенно не приемлемо для ГИС технологий, где для различных задач анализа используется строгий математический

аппарат, а для задач визуализации возможно получение карты в любом масштабе отображения. Надо разделять возможность варьировать масштабom, т.е. увеличения /уменьшения данной цифровой карты, и возможность получать карту в другом масштабе, что подразумевает изменение ее нагрузки и правил составления, различных для каждого масштаба.

При цифровании карты для использования ее в ГИС содержание карты обычно разносится по слоям, в результате чего образуется многослойная структура цифровой карты. *Слой* – покрытие, рассматриваемое в контексте его содержательной определенности (растительность, рельеф, административное деление и др.), или его статуса (активный, пассивный). Под содержательной определенностью подразумеваются некие правила, по которым формируется группа объектов.

Чаще всего слои разделяются по тематическим признакам – рельеф, гидрография, административное деление. Иногда состав слоя определяется конкретной задачей – например, для решения транспортных задач в одном слое могут находиться реки, автомобильные и железные дороги, газо- и нефтепроводы. Состав слоя относительно типов объектов (например, в одном слое могут находиться только объекты одного типа – только полигоны, только дуги, только точки или допускаются некоторые их сочетания) определяется особенностями конкретной технологии и конкретного программного обеспечения.

Для создания корректной многослойной структуры необходимо иметь возможность работать с объектами другого слоя (т.е. с дугами и точками, так как полигоны собираются из дуг, определяющих их границу). Такая возможность необходима, например, чтобы оцифровать границу в слое административного деления, которая проходит точно по реке, уже оцифрованной в слое «Гидрография», либо поставить точку, представляющую город в слое «Населенные пункты», точно на железную дорогу из слоя «Железные дороги». Очевидно, что визуально это сделать невозможно. Большое увеличение при цифровании даст лишь увеличение точности, но никогда не даст полного совпадения соответствующих объектов в разных слоях, что совершенно необходимо для цифровых карт, используемых в среде ГИС. Поэтому в программном обеспечении для ввода и редактирования карт (в «редакторе») должны быть представлены функции, обеспечивающие работу с объектами пассивного слоя.

Одной из возможных форм организации работы со слоями может являться следующая. В системе вы можете одновременно загрузить несколько слоев. Слой номер 1 (по порядку расположения) является активным, слой номер 2 – пассивным, остальные слои загружаются как «подложка» – только для отображения.

С активным слоем (покрытием, загруженным в активный слой) в среде редактора происходит вся работа по созданию и изменению про-



пространственной структуры – цифрование, редактирование, сборка полигонов, плоскостные и проекционные преобразования, а также по идентификации пространственных объектов.

Пассивный слой (покрытие, загруженное в пассивный слой) используется для создания корректной многослойной структуры («захвата» из него объектов или их частей в активный слой и т.п.) или как «принимающее покрытие» результатов ряда операций над активным слоем (преобразование проекций, копирование объектов и т.п.). Ни при каких операциях никакие изменения в пассивный слой не вносятся.

Слои, загруженные в качестве «подложки», используются только для отображения. Никаких действий с объектами этих слоев производиться не может.

Изменение статуса загруженных слоев (активный, пассивный, «подложка») может производиться пользователем. Поддерживается возможность удаления из системы старого или добавления нового слоя, а также изменения атрибутов каждого слоя – цвет объектов, цвет узлов, включение/выключение отображения слоя либо включение/выключение отображения отдельных элементов – точек, различных типов узлов (висячих, нормальных) и т.д.

Функции работы с объектами пассивного слоя должны обеспечивать создание корректной многослойной структуры цифровой карты во всех встречающихся ситуациях на исходной карте.

## Топология

Для создания топологически корректной структуры векторных данных, независимо от того, используется топологическая модель представления данных или нетопологическая, *следует придерживаться следующих правил:*

- располагать на одном слое объекты из элементов одного типа (только линейные или только точечные) или элементов родственных типов (полигоны, прямоугольники);
- не допускать наложения объектов, не пересекающихся в действительности и расхождения между контурами на смежных границах, т.е. согласовывать контура между собой. Поскольку визуально дефекты несогласованности контуров могут быть неразличимы, следует использовать автоматизированные средства обнаружения и исправления ошибок или применять программные продукты, исключающие подобные ошибки в процессе создания данных;
- не допускать рассогласованности комбинаций объектов разных типов (площадь – линия, линия – точка и т.п.). Например, реки должны иметь четкие примыкания к объектам, в которые они впадают (другим рекам, озерам), линии электропередачи должны следовать строго от опоры к опоре;

- не допускать геометрических погрешностей (расхождения в положении контуров) и смысловых ошибок на стыках соседних листов;
- контура не должны содержать избыточных вершин (вершин, не определяющих форму объектов), появление которых может быть вызвано применением полуавтоматических и автоматических векторизаторов, дигитализацией потоком, а также ошибками оператора. Для уменьшения числа лишних узлов следует применять процедуры прореживания.

Подбор параметров для операций прореживания, замыкания и других должен обеспечивать сохранение геометрических форм объекта.

### **Цифровые условные знаки**

Для повышения эффективности использования карт необходимы унификация и стандартизация условных знаков, причем следует выявить наиболее оптимальные их типы и формы. В качестве критерия оптимальности может быть принят качественный «временной» параметр, определенный на основе учета закономерности психофизиологии зрительного восприятия картографических условных знаков. При этом считается, что чем быстрее потребитель находит на карте условные знаки, их системы и структуры, тем они оптимальнее для применения. В наибольшей степени этому требованию отвечают такие геометрические фигуры, как круг, треугольник, квадрат, прямоугольник, ромб, и в меньшей – трапеция, пятиугольник, шестиугольник. При использовании ЭВМ в картографических работах большую роль играет быстрота считывания знаков с карты, чем логичнее и строже построены условные знаки, тем легче они формализуются машиной.

Согласно закономерностям психофизиологии зрительного восприятия мозг человека способен одновременно воспринимать лишь небольшое число элементов информации, поэтому следует ограничивать число модификаций условных знаков, их элементов и структур, а также устранять избыточность информации на карте вообще. В результате исследований по распознаванию образов с помощью фиксации движения глаз было обнаружено, что для запоминания и последующего узнавания рисунка геометрических фигур наш мозг выбирает такие признаки, как углы, крутые изгибы, точки пересечения линий (для контурных фигур) и другие высокоинформативные детали (для структурно-контурных фигур).

Одним из главных признаков, влияющих на скорость и точность восприятия, является контур фигуры. На основании экспериментальных исследований было установлено, что усилия по сосредоточению внимания на очертаниях какой-либо фигуры увеличиваются пропорционально ее сложности. Например, мерой сложности для многоугольников является число их сторон. Сравнение всевозможных фигур по степени сложности

может быть положено в основу выбора оптимальных форм для условных картографических знаков.

Способы опознавания фигур в процессе формирования опознавательного навыка нередко меняются: в начале тренировки объекты узнаются по набору признаков (число сторон, углов и др.), а в конце – по целостным эталонам. Зрительное узнавание фигуры при повторном наблюдении происходит путем ее сличения с соответствующим следом образа, хранящимся в памяти человека. Если какой-нибудь образ характеризуется меньшим числом признаков (углов, точек пересечения и др.), чем другой, то на опознавание его требуется меньше времени. Это, следовательно, свидетельствует о целесообразности применения простейших по форме и структуре условных знаков.

Для быстрого восприятия условных знаков на карте важное значение имеет определение оптимальных комбинаций хорошо различимых между собой геометрических фигур и их вариаций с учетом размеров и окраски знаков.

Специалисты-психологи утверждают, что наблюдателю множества разнотипных геометрических фигур на узнавание какой-либо из них требуется больше времени, чем для того, чтобы убедиться, что данный объект не тот. Отметим, что в комбинации знаков, состоящей из геометрических фигур, лучше различаются треугольник, квадрат, прямоугольник; хуже – круг и овальные формы. При проектировании систем условных знаков надо иметь в виду, что число хорошо различающихся видов знаков, которое человек может легко запомнить, примерно равно семи (в психологии оно известно как «магическое число семь» Миллера). По экспериментальным данным круг, расположенный среди треугольников, найти легче, чем среди других фигур, легко различается квадрат между кружками, а треугольник, находящийся среди квадратов, обнаруживается с наибольшим трудом.

Поскольку в памяти человека может храниться ограниченное число знаков, целесообразно создавать знаковые системы повышенной информативности. Этому способствуют конструктивно-структурные особенности геометрических фигур при возможном определении линейных соотношений, как между элементами знаков, так и их контурами. Знаки следует конструировать таким образом, чтобы как их контуры, так и отдельные детали содержали максимальную информацию. Проектирование оптимальных знаковых систем, содержащих готовые типовые значки, их структуры и комбинации, для отображения информации различного характера и объема связано с унификацией и стандартизацией оформления карт.

Окрашивание знаков, комбинирование их по форме, цвету и величине – все это влияет на психофизиологические особенности восприятия. Отметим, что различить семь цветовых тонов легче, чем распознать комбинацию из семи геометрических фигур. Эффективность восприятия цвета

не зависит от конкретной фигуры знака, а при сравнении формы и цвета доминирующая роль принадлежит цвету. Поэтому, если есть такая возможность, цвет должен быть основным средством передачи информации, а форма – вспомогательным. По мере увеличения числа цветов для окраски знаков может ухудшиться их различение, увеличение же числа фигур знаков может не дать такого эффекта. Оптимальное число абсолютно различных цветов для знаков колеблется от 5 до 12, а наиболее благоприятным считается число 7. Одно из преимуществ использования цвета состоит в том, что он может быть наложен на знаки различной формы, тем самым, повышая их информативность.

При проектировании знаковых систем надо также учитывать, что скорость прочтения симметричных форм выше, чем асимметричных. По экспериментальным данным трехмерные фигуры (т.е. объемные значки) читаются хуже двухмерных, так как имеют более сложный контур при значительном числе углов, сторон, точек пересечения. Конструируя рациональную знаковую систему, следует придерживаться распространенного правила, называемого в эстетике ритмом, которое выражается в чередовании одинаковых или схожих элементов, что существенно сказывается на скорости распознавания их признаков. Это правило сводится к определенному сочетанию элементов знаков (горизонталь, вертикаль, наклонная линия), их форм (прямолинейных, криволинейных, округлых), величин, цветов, структур, масштабов.

Итак, форма и структура цифровых картографических условных знаков должны быть просты и лаконичны. При их унификации и стандартизации желательно использовать результаты исследований по экспериментальной психофизиологии восприятия геометрических фигур, что позволит найти рациональные подходы к конструированию оптимальных систем условных знаков.

### **Создание условных знаков на ПЭВМ**

По пространственно-геометрическим характеристикам условные знаки можно разделять на точечные, линейные и площадные. Точечные условные знаки различаются по размеру и цвету (рис. 3).

#### **Точечные:**

*Векторные символы* представляют собой комбинацию элементарных геометрических фигур, объединенных в графический блок с *точкой привязки*;

*Символы TrueType* (символы из других установленных шрифтов TrueType);

*Растровые символы* – символы, хранящиеся в виде растровых изображений (например, в формате bitmap).

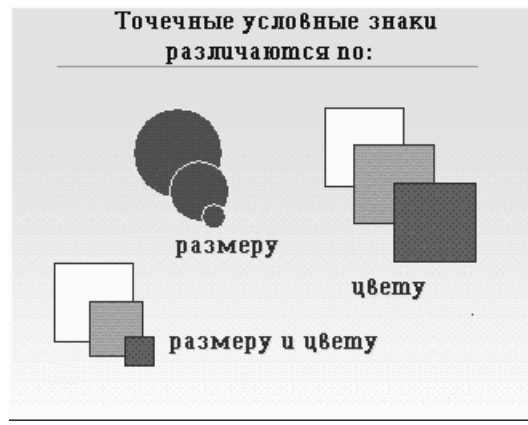


Рис. 3

**Линейные:**

Линейные условные знаки имеют следующие характеристики: тип, толщина, цвет и др.

Тип линии определяет ее структуру, т.е. сплошная, штриховая, штрихпунктирная и т.д.

При создании или редактировании типа линии линейными размерами описываются первые сегменты линии, которые потом повторяются (рис. 4).

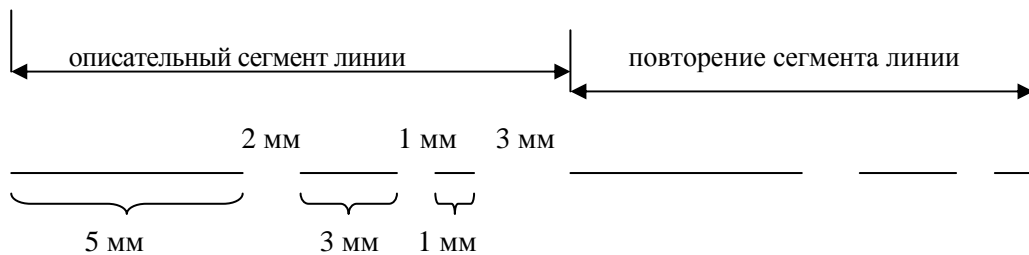


Рис. 4

Для сложных типов линий возможно сочетание линии и точечных условных знаков (специальных символов) (рис. 5).

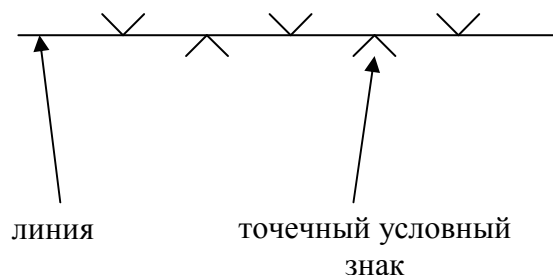


Рис. 5

Таким образом возможно создание любого линейного условного знака. Линейные условные знаки различаются по ширине, по структуре и цвету (возможны комбинации из линий) (рис. 6).

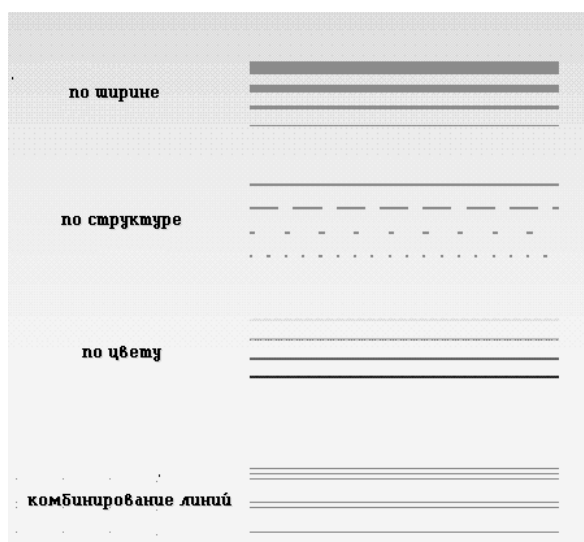


Рис. 6

Для площадных условных знаков характеристиками служат: тип, цвет и толщина линии по периметру, заполнение контура (цвет, тип штриховки или символ и расстояния между ними) (рис. 7).

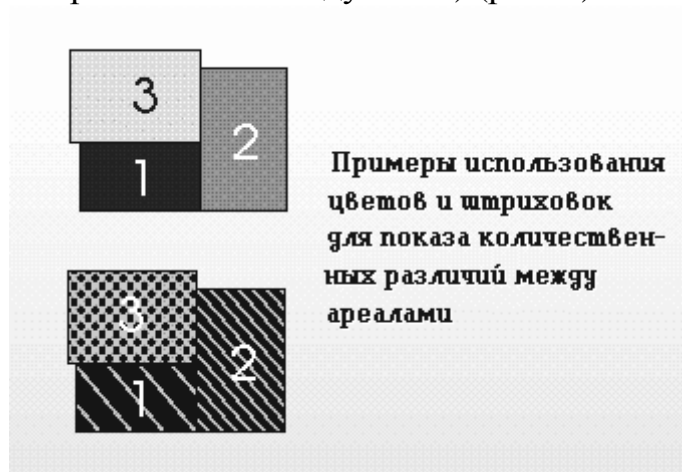


Рис. 7

### Устройства ввода цифровой информации (сканеры)

**Сканер** (scanner) – устройство аналого-цифрового преобразования изображения для его автоматизированного ввода в ЭВМ в растровом формате с высоким разрешением (обычно 300 – 600 dpi и более) путем *сканирования* в отраженном или проходящем свете с непрозрачного и прозрачного оригинала соответственно (цветного и / или монохромного полутонного и штрихового).

Классификация сканеров:

а) по конструкции:

– планшетные;

- барабанные;
- роликовые;
- б) по формату:
  - малоформатные (А4);
  - широкоформатные (А2, А1, А0);
- в) по точности:
  - прецизионные;
  - полиграфические.

Основные характеристики сканеров:

- 1) геометрическая;
- 2) радиометрическая.

При сканировании аэрофото- и космических снимков в разных задачах предъявляются самые различные требования по точности (от 10 до 50 мкм) и разрешению (от 5 до 25 мкм). При высоких требованиях к точности рекомендуется использовать профессиональный фотограмметрический сканер (например, ProfScan Photo, имеющий разрешение 5 мкм и точность 10 мкм). Этот сканер разработан в г. Зеленограде по заказу Минобороны России и выполнен на импортной элементной базе. Его ориентировочная стоимость составляет на сегодня 30 тысяч USD. Западные сканеры такого класса (фирм Intergraph, XL-Vision, Leica, Carl Zeiss и других) стоят от 150 до 250 тысяч USD. В тех случаях, когда достаточно разрешение до 25 мкм, можно применять полиграфические сканеры формата А3 (только необходимо наличие слайд-адаптера). Специализированные фирмы продают такие сканеры вместе с программой их калибровки, что позволяет повышать точность сканирования до уровня, требуемого в фотограмметрических задачах. Также возможно применение барабанных полиграфических сканеров высокого разрешения фирм ScanView, Howtek и др., но стоимость этих сканеров довольно высока – 30 – 60 тысяч USD.

### **Ошибки растровых изображений**

Традиционная для геодезии и картографии проблема точности сохраняет свою значимость при создании ЦММ, в том числе фотограмметрическим и картометрическим способом. Рассмотрим факторы, определяющие ошибки растровых изображений, получаемых на сканерах различного формата:

- неточность сканера;
- неплотность прилегания сканируемого чертежа к поверхности стекла сканера;
- деформация исходных картографических материалов;
- поворот планшета относительно линии движения сканирующего луча;
- неточность определения оператором точек координатных меток.

Классифицируют ошибки по следующим группам: исходных материалов (ИМ), сканирования и обработки.

#### *Ошибки исходных материалов*

Геометрические ошибки ИМ можно разделить на два вида: полученные в процессе создания этих материалов и ошибки деформации ИМ при хранении.

Ошибки создания ИМ, как правило, не всегда можно обнаружить, они проявляют себя в редких случаях: изображение зданий с косыми углами, несводка соседних листов по рамкам и т. п. При их обнаружении возникает вопрос о целесообразности и способах исправления.

#### *Ошибки сканирования*

Общая ошибка сканирования является результатом суммирования таких ошибок:

- дискретизации;
- квантования по уровню;
- нарушения геометрических условий;
- определения положения считывающей линейки;
- оптических.

*Ошибка дискретизации* заключается в том, что непрерывное исходное изображение (прообраз) аппроксимируется дискретным изображением (образом), представляющим собой матрицу квадратных элементов изображения – пикселей. Ошибка дискретизации наиболее ярко проявляется в существовании так называемого «лестничного» эффекта, когда наклонные линии на экране дисплея состоят из горизонтальных «ступенек».

Ошибку дискретизации можно назвать ошибкой метода растровых изображений. Ее значение зависит от разрешающей способности сканера и в среднем составляет менее 0,5 пикселя (в особых случаях – почти до 1 пикселя). При увеличении аппаратного разрешения размеры пикселя уменьшаются, и теоретически ошибка аппроксимации изображения может быть сколь угодно малой. Обычно при сканировании картографических материалов вполне достаточно разрешение 300 dpi, а для сканирования аэроснимков необходимо разрешение 1200 – 2400 dpi.

Ошибка поворота планшета относительно движения луча не является самостоятельной, это лишь проявление ошибки дискретизации, которая существует и при отсутствии поворота носителя изображения относительно системы координат сканера.

*Ошибка квантования по уровню* появляется вследствие аппроксимации непрерывной функции двух переменных (яркости изображения) дискретной функцией. Эта ошибка особенно проявляется при получении бинарных растровых изображений и связана с необходимостью указания порогового значения яркости, используемого для идентификации каждого



пикселя либо как черного, либо как белого. Ошибка квантования по уровню бинарных изображений «работает» вместе с ошибкой дискретизации, что может приводить к утолщению или утоньшению линий на величину до одного пикселя, и, как следствие, к изменению положения геометрической оси линии.

Влияние ошибки квантования по уровню можно уменьшить, если осуществлять сканирование изображения не как бинарного, а как полутонового, но тогда резко увеличится размер файла с растровым изображением, и возникают проблемы со сбором геометрических данных в полуавтоматическом и автоматическом режимах.

Аппаратное разрешение – это только одна характеристика точности сканера, другая – его геометрическая точность. Для понимания ошибок нарушения геометрических условий рассмотрим геометрическую схему планшетного сканера (рис. 8). С геометрической точки зрения сканер представляет собой две направляющих  $Y'$  и  $Y$ , по которым движется линейка  $X$  с установленными на ней светочувствительными элементами.

Из такой конструкции вытекают следующие условия:

1) прямолинейности направляющих. Несоблюдение данного условия может быть причиной систематических и случайных ошибок сканирования;

2) параллельности направляющих. Его нарушение может сопровождаться ошибками случайного характера из-за возможности появления люфта;

3) прямолинейности линейки: центры считывающих элементов должны лежать на одной прямой. Изгиб линейки в плоскости, проходящей через направляющие, вызывает ошибки систематического характера (рис. 9);

4) равномерности расположения считывающих элементов на линейке. Неравномерность расположения считывающих элементов влечет за собой ошибки систематического характера по одной из координат;

5) перпендикулярности линейки направляющим: прямая, проходящая через центры считывающих элементов, должна быть перпендикулярна направляющим. Невыполнение данного условия вызывает систематические ошибки, в результате которых прямоугольник трансформируется в параллелограмм (рис. 10);

6) равенства длины линейки расстоянию между направляющими, или иначе – механическая система из направляющих и линейки не должна иметь люфта. Несоблюдение условия сопровождается ошибками по оси координат, параллельной линейке;

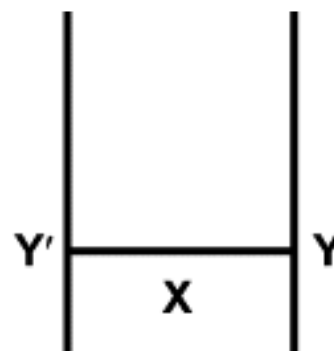


Рис. 8. Геометрическая схема сканера

7) компланарности рабочей поверхности: рабочая поверхность сканера должна быть плоскостью. Нарушение условия – причина систематических ошибок по обеим осям координат;

8) параллельности плоскости рабочей поверхности сканера и плоскости, проходящей через направляющие. Непараллельность указанных плоскостей может иметь своим следствием разномасштабность растрового изображения.

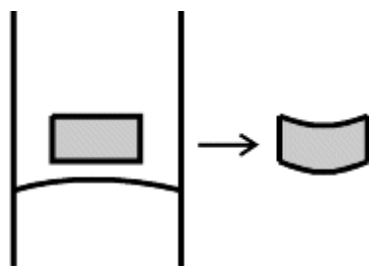


Рис. 9. Схема влияния изгиба линейки

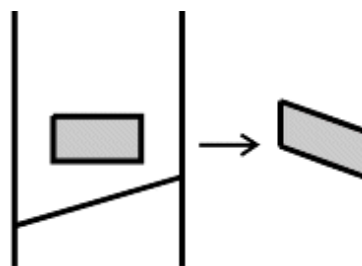


Рис. 10. Схема влияния неперпендикулярности

*Ошибка определения положения считывающей линейки* вызвана неравномерностью ее движения по направляющим, если изображение считывается через равные промежутки времени, либо ошибкой следящей системы, если таковая используется. Вероятнее всего, это наиболее существенная ошибка сканера, поскольку все движущиеся механические узлы характеризуются меньшей стабильностью работы.

*Оптические ошибки* складываются из ошибок оптической системы сканера и ошибки, вызванной неоднородностью оптических свойств стекла, используемого в качестве рабочей поверхности сканера – основания для сканируемых материалов.

Планшетный сканер похож на фотоаппарат с размером кадра  $1n$  пикселей ( $n = 2048$  или более в зависимости от разрешающей способности). При удалении объекта съемки от фотоаппарата изображение объекта уменьшается. У сканера оно по очевидным причинам уменьшается только по одной координате. Требование параллельности рабочей поверхности и направляющих сканера обусловлено именно существованием оптической системы.

*Ошибки обработки.* При использовании малоформатных сканеров целостное растровое изображение монтируется из фрагментов программным путем. При этом возникают три типа ошибок: определения точек, округления и алгоритма.

*Ошибки определения точек* вызваны неточностью идентификации или указания оператором угловых точек фрагментов, по которым будет осуществляться объединение фрагментов в целостное изображение. При неблагоприятных условиях эта погрешность может достигать 1 пикселя.

Для уменьшения данной ошибки необходимо увеличить масштаб растрового изображения на экране монитора.

*Ошибки округления* неизбежны, поскольку в итоге координаты точек растра представляются целыми числами и при аккуратной реализации не превышают 0,5 пикселя.

*Ошибки алгоритма* могут быть значительно больше ошибок округления, в частности, в случаях, когда предполагаемая деформация планшетов (или то, что за нее принимается) устраняется по крестам координатной сетки. Проблема может быть решена при выборе адекватного алгоритма.

Существуют специальные программные продукты, которые предназначены для исправления геометрических искажений, вносимых при сканировании графического материала планшетными полиграфическими сканерами.

Для компенсации искажений используется трансформирование полученного растрового изображения по *полю искажений* сканера. Поле искажений сканера строится по растровому изображению, полученному при сканировании *эталонного* графического материала (регулярной сетки или набора крестов).

Методика работы с программой может состоять в следующем:

- в серию сканирований данных для получения *поля искажения* дополнительно включается сканирование *эталона*;
- по растровому образу *эталона* строится *поле искажений* сканера;
- по этому *полю искажений* проводится трансформирование полученных при сканировании изображений.

Исследования точностных характеристик планшетных сканеров показывают, что *поле искажений* сканера, в основном, обусловлено систематическими ошибками. Это дает возможность применять при трансформации изображения *поле искажений*, построенное по другому изображению.

При наличии калибровочных крестов на исходном графическом материале (например, фотопленке) методика работы не меняется, за исключением того, что *поле искажений* строится по тому же изображению. Обычно предусматривается возможность введения и учета табличных значений координат этих крестов.

Для контроля поля вносимых сканером искажений предусмотрена возможность просмотра поля искажений и просмотра статистики поля. Поле искажений, минимизированное по среднеквадратичному отклонению, отображается таким образом, что по цвету можно определить величину абсолютной ошибки сканера в каждой конкретной точке поля сканирования.

Эффективность работы данной методики компенсации систематической ошибки сканера можно проверить по следующему алгоритму:

- отсканировать высокоточную сетку (эталон) два раза с некоторым сдвигом от одного сканирования к другому;
- построить поле искажений по одному из них;
- трансформировать по этому полю другое изображение;
- построить по трансформированному изображению поле искажений;
- проанализировать статистику этого поля и сравнить со статистикой первого поля.

#### *Рекомендации по сканированию*

- включать сканер за 30 – 40 минут до начала сканирования, это необходимо для поддержания стабильности его характеристик в процессе работы;
- для удобства расположения сканируемого материала закрепить на стекле сканера рамку соответствующего размера, наличие меток на исходном материале и на рамке упростит работу;
- материал для рамки должен быть максимально непрозрачным и при этом иметь небольшую толщину, чтобы не мешать прижиму исходного материала;
- при закреплении рамки добиться, чтобы ее внутренние края при сканировании были максимально параллельны осям растрового изображения;
- для задания точки привязки изображений и полей искажений к системе координат сканера вместо рамки можно использовать любой другой объект, неподвижный на стекле сканера от одного сканирования к другому;
- располагать эталон таким образом, чтобы линии сетки были максимально параллельными сторонам поля сканирования сканера (сторонам рамки). Перекос не должен превышать 5 град.

Необходимо отметить, что точность работ напрямую зависит от точности оцифровки (сканирования) исходных материалов, но при увеличении точности сканирования значительно увеличивается время и стоимость работ.

### **Фотограмметрические методы создания и обновления карт. Аппаратные и программные средства**

В настоящее время основным методом создания и обновления топографических карт и планов является фотограмметрический метод, основанный на использовании аэро- и космических снимков. Только этот метод позволяет создавать и обновлять топографические карты и планы в достаточно короткие сроки и в значительной мере сократить затраты на производство работ за счет сокращения объема дорогостоящих полевых работ. В связи с проведением земельной реформы поставлена задача в короткие сроки создать земельный кадастр. Учитывая необходимость выполнения

работ в сжатые сроки, очевидно, что без внедрения в производственные организации современных фотограмметрических ГИС-технологий создание и обновление карт и планов невозможно. Рассмотрим основные направления развития фотограмметрических технологий, основанных на использовании современных аппаратных и программных средств. Необходимость быстрого внедрения в производство компьютерных ГИС-технологий первоочередной задачей выдвинули создание фотограмметрических рабочих станций на базе широко распространенных в производстве фотограмметрических аналоговых приборов и относительно дешевых компьютеров IBM PC.

В период с 1990 г. в ряде организаций созданы и внедрены в производство фотограмметрические рабочие станции (ФРС) на базе стереокомпараторов и универсальных фотограмметрических приборов, позволяющих по стереопарам аэро- и космических снимков создавать цифровые модели местности. Программные комплексы этих станций обеспечивают решение фотограмметрических задач, а также создание в реальном масштабе времени цифровых моделей местности по стереопарам аэрокосмических снимков с одновременной их визуализацией на экране дисплея. Существенной особенностью разработанных станций является их невысокая стоимость, а также удобство и простота работы на станции оператора – фотограмметриста.

В настоящее время многие топографо-геодезические предприятия оснащены аналитическими фотограмметрическими рабочими станциями (АФРС), программные комплексы которых обеспечивают построение цифровых моделей местности, маршрутных и блочных сетей фототриангуляции и цифровых моделей рельефа. Эти станции обеспечивают высокую точность измерений, достигающую 2 – 4 мкм в масштабе снимка. Наиболее распространенными станциями такого типа являются АФРС «Стереоанаграф» различных модификаций, выпускаемых на Украине заводом «Аэрогеоприбор» и АФРС «SD-2000» и «SD-3000» швейцарской фирмы «Leica». В 1995 году по лицензии АФРС «SD-2000» выпускается в России заводом ЭОМЗ под названием «SD-20».

Остановимся более подробно на ее характеристиках. АФРС является высокоточным, надежным в эксплуатации комплексом, позволяющим решать практически все задачи по фотограмметрической обработке стереопар аэрофотоснимков. В её состав входит станция «Microstation», обеспечивающая построение цифровых моделей местности и их редактирование и решение других задач. Особо необходимо отметить модификацию станции, в состав которой входит модуль «Coloriss», обеспечивающий наложение векторной информации в монокулярном или стереоскопическом вариантах на наблюдаемую стереоскопическую модель. Использование этого модуля при создании топографических карт позволяет оператору контро-

лизовать полноту и точность создаваемой карты. Использование модуля «Coloriss» при обновлении топографических карт особенно эффективно, т.к. позволяет наложить изображение обновляемой карты на стереомодель, произвести сравнение обновляемой карты с местностью и выполнить исправление карты. Современное развитие фотограмметрии характеризуется весьма быстрым развитием методов цифровой фотограмметрии.

Следует ожидать, что в ближайшие годы цифровые фотограмметрические системы для обработки одиночных и стереопар снимков заменят традиционные системы, основанные на использовании аналоговых изображений. В настоящее время все ведущие центры и фирмы, занимающиеся фотограмметрическим приборостроением, основные усилия направляют на разработку и создание цифровых фотограмметрических систем. Среди этих систем можно выделить такие как «Helava» (США), «Intergraph» (США), «Traster ТЮ» (Франция), «DAT/EM» (США) и другие, которые позволяют решать все фотограмметрические задачи при создании и обновлении карт по аэро- и космическим снимкам. Эти станции имеют широкие возможности по автоматизации измерений при решении задач внутреннего и взаимного ориентирования снимков, внешнего ориентирования модели, при построении фототриангуляции, при создании цифровой модели рельефа и сборе контуров. Кроме того, они позволяют получить ортофотокарту, а некоторые и построить перспективные обзорные изображения. Все эти станции ориентированы на компьютеры фирмы «Sun». Несмотря на все свои очевидные достоинства, применение этих станций на российском рынке пока ограничено из-за их высокой стоимости, достигающей 100 – 200 тыс. USD.

Существуют и более дешевые станции (стоимость которых примерно на порядок ниже), позволяющие решать задачи создания и обновления карт по отдельным стереопарам аэроснимков в интерактивном режиме с частичной автоматизацией стереоскопических измерений. Эти станции ориентированы на персональные компьютеры. Примером такой станции может служить «DVP», разработанная в канадском университете и распространяемая фирмой «Leica». Другим направлением является создание рабочих станций для построения цифровых ортофотопланов по аэроснимкам с последующим использованием их в качестве подложки при создании и обновлении карт. Среди таких станций можно назвать «Orthon»(Франция), «Phodis»(Германия), ориентированных на «Sun» и «OrthoKork» (США) для IBM PC. Эти станции позволяют выполнить ориентирование одиночного снимка, создать ортофотоизображение с учетом ЦМР, получить ортофотоплан и выполнить векторизацию контуров. Результаты векторизации могут быть экспортированы в различные ГИС.

В России также ведутся интенсивные работы по созданию цифровых фотограмметрических станций. В частности, фирмой «Рокурс» на базе IBM PC создана цифровая фотограмметрическая система «Photomod», предназначенная для фотограмметрической обработки стереопар снимков и создания ортофотоснимков. Система позволяет в автоматическом режиме производить построение цифровой модели рельефа с последующим его редактированием в интерактивном режиме, выполнять векторизацию по стереомодели с автоматизацией стереоскопических измерений, производить генерализацию горизонталей по результатам построения ЦМР. В МИИГАиК создана недорогая цифровая стереофотограмметрическая станция «АПЕРТУРА», предназначенная для создания цифровых моделей местности по стереопарам аэрофотоснимков. Для стереоскопических измерений, выполняемых оператором, используется зеркально-линзовый стереоскоп.

В настоящее время эта станция используется в ряде организаций для фотограмметрической обработки снимков. В России создана и успешно используется в ряде организаций цифровая фотограмметрическая станция «Ортофото». Станция «Ортофото» представляет собой программный комплекс, позволяющий по исходному цифровому изображению и цифровой модели рельефа получить цифровой ортофотоснимок. Созданный комплекс предусматривает выполнение следующих основных процессов: внутреннего ориентирования снимка, определения элементов внешнего ориентирования снимка по опорным точкам и создания цифрового ортофотоизображения. Существенной особенностью разработанного комплекса является его совместимость с геоинформационными системами. В частности, он включен как приложение к ГИС MapInfo, средствами которой можно легко создавать новые или обновлять старые карты и планы по ортофотоснимку.

С использованием цифровых фотограмметрических станций и аналитических приборов существенно повышается точность создания цифровых топографических карт и планов. Фактически, независимо от того, в каком масштабе в последующем будет использоваться цифровая карта, точность определения планово-высотного положения контуров всегда будет оставаться на уровне точности создания цифровой карты. Цифровые фотограмметрические технологии позволяют существенно сократить временные затраты и снизить себестоимость создания цифровых топографических карт и планов. Так, например, сокращается объем полевых работ по подготовке планово-высотной опоры, как с использованием пространственной фототриангуляции, так и с использованием GPS-приемника в момент фотографирования на борту самолета для определения элементов фотографирования. С технологического процесса отпадает необходимость вычерчивания карт и планов. При изменении масштаба созданной карты с

крупного на более мелкий масштаб значительно сокращается объем редакторских работ по генерализации объектов.

*Существуют три основные методики создания цифровой модели рельефа:*

1. Сбор пикетов, необходимых для построения ЦМР, производится аналогично сбору на аналоговых приборах.

2. Сбор пикетов полуавтоматическим методом: оператор выбирает местоположение пикета, после чего программа методом корреляции определяет отметку пикета.

3. Сбор пикетов автоматическим методом: по узлам предварительно заданной регулярной сетки программа автоматически производит набор пикетов методом корреляции. После набора необходимо произвести редактирование пикетов, так как узлы сетки могут попасть на здания, деревья и т.д.

После того, как по одному из методов будет произведен набор необходимого числа пикетов, программа автоматически произведет построение ЦМР и создаст горизонтали. Помимо пикетов для интерполяции можно использовать различные контура и объекты (верх и низ насыпи дороги и т.д.). Цифровые фотограмметрические станции позволяют создавать цифровые ортофототрансформированные снимки заданного масштаба. Ортофототрансформированный снимок может быть выведен на печать в заданном масштабе или использоваться в цифровом виде для решения определенных задач (подсчет площадей и т.д.). Возможности цифровых фотограмметрических технологий учитывать любого вида искажения изображения территорий позволили эффективно использовать космические снимки как для создания цифровых карт среднего и мелкого масштабов, так и для решения различного вида задач (использование космических снимков в сельскохозяйственных целях и т.д.).

### **Цифровые ортофотопланы**

Возможности цифровых средств, на применении которых базируется метод цифрового трансформирования снимков, определяют ряд его значительных преимуществ перед традиционными способами:

- универсальность, в связи с чем возможно преобразование исходных фотоснимков с любыми параметрами и любой геометрией изображения в картографическую проекцию любого вида;
- возможность фотометрической коррекции изображения трансформируемого снимка с целью повышения его фотографического качества;
- возможность автоматического монтажа фотопланов в пределах трапеции.



Эта технология составления и обновления карт дает большое преимущество цифровым фотограмметрическим станциям по сравнению с аналоговыми и даже аналитическими стереоприборами.

Преимуществом является способность цифровых станций обеспечивать автоматизированное создание цифровых ортофотопланов, которые могут быть использованы как сами по себе, в качестве документа фотографически фиксирующего фактическое состояние местности на момент съемки, так и для составления и обновления топографических карт.

Что же такое ортофотоплан, чем он отличается от обычных аэрофотоснимков? Обычный снимок нельзя использовать для точных измерений на нем расстояний и площадей. На снимке наблюдается также и эффект, когда расположенные ближе к его краям дома, деревья и прочие высокие объекты сфотографированы как бы несколько с боку, поэтому крыши домов несколько «съезжают» в сторону от их фундаментов. Однако в частном секторе фундаменты домов нередко скрыты растущими вокруг строения кустами и деревьями, а потому крыши – это единственное, что позволяет зафиксировать форму и положение дома. Кроме того, в момент фотографирования самолет (и установленная на нем фотокамера) испытывали некоторый крен относительно строго горизонтального направления, потому каждый снимок получается пусть с небольшим (для этого существуют гиросtabilизированные платформы), но ощутимым для его точности наклоном. Также самолет не может сохранить строго одну и ту же прямую линию залета, отклоняясь чуть правее, чуть левее. Поэтому каждый снимок некоторым индивидуальным образом повернут как относительно направления на север, так и относительно другого снимка.

Задача фотограмметрии состоит в том, чтобы сначала определить параметры каждого снимка, а затем при рисовке по снимку на стереоприборе учесть их так, чтобы результаты рисовки имели точные координаты в плане и по высоте.

Эти результаты могут представлять собой как геометрически правильные и сориентированные в заданной системе координат очертания объектов местности (домов, дорог, рек и т.д.), так и высотные отметки и горизонтали. По обычным снимкам, если применять аналоговые или аналитические стереоприборы, все эти сведения можно получить только путем непосредственной рисовки на этих приборах. Цифровые фотограмметрические станции могут осуществить такое трансформирование исходных снимков, которое позволит устранить все содержащиеся на них искажения, привести к заданному масштабу, развернуть так, чтобы снимок был сориентирован строго на север в заданной системе координат. Этот процесс называется ортотрансформированием, а результатом его становятся ортофотопланы.

Изначально ортофотопланы создаются в цифровом виде, что позволяет просматривать их с любой степенью увеличения или уменьшения на мониторе компьютера. Если при помощи специального графического редактора отрисовать по ортофотоплану элементы местности и фактические границы землепользований, получаемые результаты будут представлять собой цифровую карту (с нее возможно получить бумажную копию в заданных условных знаках и цветах). Возможно также вывести на т.н. твердую копию и сам ортофотоплан, для чего применяются различные устройства фотовывода. Наконец, имеется возможность распечатать фотокарту, где на ортофотоплан будет наложено содержание цифровой карты.

Итак, в чем состоит преимущество создания и использования ортофотопланов?

- Процесс создания ортофотопланов (особенно относительно мелких масштабов) в значительной своей части автоматизирован (это касается автоматических и автоматизированных процедур создания цифровой модели высот).

- Цифровая модель высот позволяет не только получить ортофотоплан, но и автоматически построить горизонтали.

- Там, где производятся измерения непосредственно оператором (как правило, это рисовка зданий и некоторых других объектов местности), получаемые результаты применяются не только при создании ортофотоплана, но и сами являются элементами содержания цифровой карты.

- Работа с ортофотопланом осуществляется либо на обыкновенном компьютере (который во много раз дешевле применения фотограмметрических приборов), либо вообще по бумажной копии ортофотоплана (фотокарты).

- Как итоговый документ фотограмметрического процесса, ортофотоплан во много раз информативнее карты, которая могла бы быть создана по тем же фотоматериалам при помощи традиционных технологий.

- Ортофотоплан, точно привязанный к местности, по которому можно производить любые измерения, имеет убедительность фотодокумента, фиксирующего состояние местности на данную дату.

- Ортофотоплан позволяет с высокой точностью и полнотой выявить содержащиеся в цифровых кадастровых картах ошибки и упущения.

- Ортофотопланы используются и для осуществления процесса обновления карт. Отсканированные существующие карты можно наложить на ортофотоснимок и установить наличие и величину изменений.

- Ортофотопланы могут являться одним из главных источников информации о наличии землепользований и их фактических границах.

- Ортофотопланы удобно хранить на цифровых компакт-дисках. При данной форме хранения их нет необходимости переписывать на жесткий диск компьютера.

Таким образом, средствами фотограмметрии возможно осуществить целый комплекс работ, т.к. с использованием материалов дистанционного зондирования (снимков местности) производятся точные обмеры зданий, фактических границ землепользований и т.д. без выезда на местность. Это и дешевле, и быстрее полевых геодезических работ, кроме того, вся обработка материалов дистанционного зондирования осуществляется вне зависимости от сезона года, транспортной доступности каждого уголка картографируемой местности. Все получаемые материалы создаются на единую дату, могут охватывать территории целых районов.

При формировании цифровых ортофотоизображений по цифровым изображениям снимков в заданном масштабе, формате и границах учитываются наклон снимков, цифровая модель рельефа, а также устраняются искажения, связанные с неточностями измерений и деформацией исходных материалов.

Формирование цифровой модели рельефа для обеспечения данного процесса может быть выполнено на основе цифровых векторных данных о горизонталях и высотных отметках с использованием соответствующих программных средств.

Рассмотрим основные технологические этапы создания цифровых ортофотопланов:

1. Загрузка исходных данных – паспортных данных калибровочного объекта для сканера, паспортных данных фотокамеры, опорной информации, данных об идентификации снимков и структуре маршрута или блока. Опорные геодезические данные для внешнего ориентирования могут быть также получены встроенными средствами системы путем идентификации и измерения координат необходимых точек в ранее созданных цифровых векторных моделях местности или на нормализованных и ориентированных цифровых изображениях.

2. Геометрическая коррекция полученных ЦИ с целью устранения систематических ошибок, вносимых сканером и устранения деформаций исходных снимков, выполнение внутреннего ориентирования и формирование, при необходимости, «идеальных» цифровых изображений.

3. Автоматизированное измерение точек для взаимного и внешнего ориентирования. После измерения нескольких общих точек обрабатываемой стереопары возможна установка режима стереовизуализации для дальнейших измерений. Выполнение маршрутной или блочной фототриангуляции, определение и контроль элементов внешнего ориентирования снимков блока и геодезических координат всех измеренных точек. Блок или маршрут может в частном случае состоять из одной стереопары.

4. Формирование и ориентирование стереомоделей для создания стереоскопического изображения на экране монитора и выполнения измерений трехмерных координат объектов. В результате могут быть созданы и запомнены во внутренней базе данных трехмерные векторные объекты с необходимыми атрибутивными данными, которые затем могут быть экспортированы в векторном формате для дальнейшей обработки.

5. Формирование регулярных цифровых матриц рельефа (ЦМР) на основе цифровых векторных данных о структурных элементах рельефа (например, границы областей с одинаковым уклоном и др.), а также горизонталях и высотных отметках (при наличии). Возможен выбор произвольной области для формирования ЦМР с необходимым дискретом.

6. Создание точных цифровых ортофотоизображений по цифровым изображениям снимков в заданном масштабе, формате и границах, при необходимости, с векторной нагрузкой, включая координатную сетку, зарамочное оформление и др. При этом учитываются наклон снимков, цифровая модель рельефа, а также устраняются искажения, связанные с неточностями измерений и деформацией исходных материалов. Для обработки множества снимков (блоков) могут использоваться средства автоматизированного монтажа, включающие возможность его планирования и контроля. В процессе монтажа, при необходимости, выполняется коррекция яркости и контрастности монтируемых фрагментов, которые могут быть произвольной конфигурации. Возможно совместное отображение и контроль векторных данных и растра на всех стадиях обработки.

Прямоугольные геодезические координаты каждого элемента (пикселя) цифрового ортофотоизображения определяются его относительным положением в прямоугольной матрице пикселей полученного ЦИ. Дополнительно может быть сгенерирован файл с данными координатной ориентации и масштаба получаемого ортофотоизображения, который также включает геодезические координаты маркированных точек элементов разграфки.

#### **Привязка изображения (ортофотоплана) к геодезической системе координат**

Дальнейшую обработку ортофотоизображения выполняют в специальных программных продуктах, выбор которых зависит от решаемых задач.

Изображения хранятся как растровые данные, в которых каждая ячейка растра имеет номер строки и столбца. Векторные изображения хранятся в реальных координатах. Для того чтобы отображать растровые данные совместно с векторными, необходимо произвести трансформацию изображения, в процессе которой координаты изображения привязываются к реальным координатам. Параметры трансформации обычно сохраняются вместе с изображением. Некоторые растровые форматы, такие как ERDAS,

IMAGINE, BSQ, BIL, BIP, GeoTIFF и grid, хранят информацию о географической привязке в заголовке файла изображения. Многие программные продукты используют эту информацию, если она присутствует в файле. Однако другие форматы хранят эти данные в отдельных файлах формата ASCII. Такие файлы обычно относят к так называемым «мировым» (world) файлам, поскольку они содержат информацию о привязке изображения к реальным мировым координатам. Их можно создать любым текстовым редактором, а также с использованием соответствующих команд фотограмметрических программных продуктов.

Файл «привязки», относящийся к изображению, определяется легко: он имеет то же имя, что и файл изображения с добавлением символа «w». Наиболее часто для расширения такого файла используются первый и третий символы расширения файла изображения плюс символ «w» на конце. Т.о., для файла mytown.tif в таком формате имя файла «привязки» будет mytown.tfw, для redlands.rlc – redlands.rcw. Для файлов изображений, не имеющих расширения или имеющих в расширении меньше трех символов, «w» добавляется к концу имени без его изменения. Т.о., имя файла «привязки» для файла изображения terrain будет terrainw; для floorpln.rs – floorpln.rsw. Обращение к информации о географической привязке изображения используется всякий раз, когда изображение выводится на экран (например, в операциях увеличения и уменьшения). При этом рассчитываются параметры трансформации в следующей последовательности:

- 1) из файла «привязки»;
- 2) из файла заголовка (если тип изображения поддерживает таковой);
- 3) из информации о количестве строк/столбцов изображения (тождественная трансформация – identify transformation). Поскольку информация из файла «привязки» имеет наивысший приоритет, всегда можно перекрыть информацию о параметрах трансформации файла заголовка путем создания собственного файла «привязки».

Если такой файл существует, производится трансформация изображения к реальным координатам. По существу, трансформация является аффинным преобразованием с шестью параметрами в следующей форме:

$$x_1 = Ax + By + C, \quad y_1 = Dx + Ey + F,$$

где  $x_1$  – рассчитанное значение координаты  $x$  карты для пикселя;

$y_1$  – рассчитанное значение координаты  $y$  карты для пикселя;

$x$  – номер столбца пикселя изображения;

$y$  – номер строки пикселя изображения;

$A$  – шкала  $x$ ; размерность пикселя в единицах измерения карты по оси  $x$ ;

$B, D$  – параметры вращения (rotation terms);

$C, F$  – параметры точки отсчета (translation terms); координаты карты  $x, y$  для центра верхнего левого пикселя;

$E$  – обратная шкала  $y$ ; размерность пикселя в единицах измерения карты по оси  $y$ .

*Примечание:* Шкала  $y$  ( $E$ ) является обратной, поскольку координаты точки отсчета изображения и географическая система координат различны. Точка отсчета изображения находится в верхнем левом углу, в то время как координатная система карты – в нижнем левом. Порядковый номер строки изображения увеличивается по направлению вниз, а значение координаты  $y$  – по направлению вверх.

Параметры трансформации хранятся в файле «привязки» в следующем порядке:

20,17541308822119 –  $A$

0,0000000000000000 –  $D$

0,0000000000000000 –  $B$

-20,17541308822119 –  $E$

424178,11472601280548 –  $C$

4313415,90726399607956 –  $F$

Однако некоторые программы не производят вращения или деформацию изображения. Если Ваш файл «привязки» содержит ненулевые параметры вращения (параметры  $D$  и  $B$ ), изображение может изменить свое положение относительно векторных данных в одном и том же виде при выполнении операций увеличения/уменьшения.

### **Применение материалов аэрофотосъемки при проектировании инженерных сооружений линейного типа. Характеристика и точность нанесения элементов трассы и контуров**

К линейным сооружениям относят сооружения, вытянутые вдоль основной оси: автомобильные и железные дороги, трубопроводы, каналы и тоннели различного назначения, линии электропередач (ЛЭП) и т. д.

Трассой называется ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности или карте, где намечают направления и варианты трассы.

Проектирование линейных сооружений, как правило, ведется на специально созданных планах. Кроме того, эти планы необходимы для технической инвентаризации коммуникаций, при их эксплуатации и при реконструкции сооружений.

В зависимости от типа сооружения выбирают масштаб создаваемого плана согласно СНБ 1.02.01-96 – Инженерные изыскания для строительства, Минск, 1996 г. Диапазон масштабов создаваемых планов – от 1:500 по 1:10000, с разными высотами сечения рельефа  $h$  в зависимости от характера сооружения и условий местности ( $h = 0,5 - 2$  м). Масштабы создавае-

мых планов выбираются в зависимости от требуемой точности определения координат элементов сооружения.

Согласно СНБ средние погрешности  $\vartheta$  плановой съемочной сети относительно пунктов опорной геодезической сети не должны превышать на плане 0,1 мм для открытой и застроенной местности и 0,15 мм – для местности, закрытой растительностью; для контуров плана средние ошибки не должны превышать 0,5 мм и 0,7 мм соответственно.

В зависимости от масштаба плана  $1:M$  на местности точки необходимо определять с разной точностью  $\theta$ , которую можно вычислить по формуле

$$\theta = \vartheta \cdot M. \quad (1)$$

Средние погрешности высот опорных точек относительно ближайших реперов не должны превышать  $1/10h$  на равнинной местности и  $1/6h$  – в горах. Для контуров эти погрешности не должны превышать  $1/4h$  при  $\alpha < 2^\circ$  или  $1/3h$  при  $2^\circ \leq \alpha \leq 6^\circ$  в зависимости от угла наклона местности  $\alpha$ .

Ширина полосы съемки вдоль трассы должна составлять 100 м на незастроенной территории; для застроенной она ограничивается шириной улицы.

В фотограмметрии чаще пользуются не средними ошибками, а средними квадратическими ошибками (СКО). Переход от средних  $\theta$  к СКО  $m$  осуществляется по известной из теории математической обработки геодезических измерений формуле

$$m_d = 1,25\theta, \quad (2)$$

где  $m_d$  – СКО определения планового положения точки.

При фотограмметрических построениях СКО определения координат  $X$  и  $Y$  одинаковы, тогда СКО по осям координат будет

$$m_{x,y} = \frac{m_d}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

Рассчитанные по формуле (3) точностные характеристики потребуются при выборе масштабов фотографирования и оценке точности выполненных работ.

### **Проектирование линейных сооружений**

Основными элементами трассы являются план, т.е. проекция трассы на горизонтальную плоскость, и продольный профиль – вертикальный разрез по проектируемой линии.

В плане трасса состоит из прямых участков разного направления, сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми. В продольном

профиле трасса состоит из линий различного уклона, соединенных вертикальными круговыми кривыми. Уклон рассчитывается по формуле

$$i = \frac{h}{L} = \operatorname{tg}\alpha. \quad (4)$$

На трассах ЛЭП, канализации и т.д. горизонтальные и вертикальные кривые не проектируют.

На профиле вертикальный масштаб в 10 раз крупнее горизонтального. Продольный профиль дополняют поперечными профилями, которые создают в крупном масштабе, например, 1:100, одинаковом горизонтальном и вертикальном.

При трассировании автомобильных, железных дорог и др. устанавливают максимально допустимые уклоны и минимально возможные радиусы кривых для безопасности движения.

На самотечных каналах должен быть выдержан проектный уклон при допустимых скоростях движения воды.

В равнинных и среднепересеченных районах естественный уклон местности, как правило, меньше допустимого уклона трассирования, поэтому положение трассы определяется контурными препятствиями: озерами, болотами и т.д.

Трассирование по картам или планам в равнинной местности чаще всего выполняют способом попыток. Для этого между заданными точками намечают на карте кратчайшую трассу и составляют по ней продольный профиль с проектом красной линии, выявляют места, где трассу целесообразно сдвинуть, чтобы отметки местности ближе подходили к проектным. Затем вписывают кривые, разбивают пикетаж. По горизонталям определяют черные отметки пикетов и характерных перегибов местности. Составляют продольный профиль по намеченному направлению и проектируют красную линию. По карте определяют длины отрезков, при необходимости, координаты поворотных точек.

В последнее время появились автоматизированные системы, позволяющие выполнять трассирование линейных сооружений. Самое большое распространение в Беларуси и России получила система CREDO. В системе CREDO создают цифровую модель местности (ЦММ), состоящую из цифровой модели рельефа и цифровой модели ситуации. ЦММ является основой для проектирования линейных объектов. Трассирование в системе CREDO выполняют так же, как и по картам.

Так как выбор варианта проектируемого участка в системе CREDO выполняют по ЦММ, т.е. планам, то инженер-проектировщик изначально допускает ошибку, так как планы не несут в себе всю полную информацию о местности и порой сложно учесть все особенности рельефа, из-за чего часто приходится разбивать конкурентный вариант. Кроме того, создание



ЦММ достаточно трудоемкий и дорогостоящий процесс, особенно когда измерения выполняют непосредственно на местности.

Материалы аэрофотосъемки позволяют получить стереоизображение и учесть все особенности рельефа местности, а также достаточно точно принять решение о направлении будущей трассы. По стереоизображению можно получить координаты точек местности, необходимые при проектировании. Использование материалов аэрофотосъемки приведет к уменьшению сроков проектирования, позволит повысить качество работ.

### **Выбор параметров аэрофотосъемки**

Фотограмметрические методы целесообразно применять при изыскании трасс, длина которых не менее 200 – 300 км. Однако в последнее время большой объем работ по материалам аэрофотосъемки выполняется для обновления топографических карт и планов и их можно с успехом использовать при трассировании линейных сооружений.

В практике линейных изысканий применяют аэрофотосъемку вдоль всех намеченных вариантов трассы. В ряде случаев аэрофотосъемку ведут одновременно двумя аэрофотоаппаратами (АФА) с разными фокусными расстояниями. Мелкомасштабные аэрофотоснимки используют для фотограмметрического сгущения сетей фототриангуляции и для трассирования различных вариантов, а крупномасштабные – для дешифрирования.

Масштаб аэрофотоснимков устанавливают исходя из возможностей дешифрирования тех или других объектов местности и точности окончательных результатов.

Аэрофотоснимки, полученные АФА с малым фокусным расстоянием, позволяют обеспечить максимальную точность определения отметок точек местности. Точность планового положения зависит только от масштаба фотографирования и не зависит от величины фокусного расстояния. Короткофокусные АФА относят к широкоугольным, и они позволяют заснять на каждый снимок большую площадь, следовательно, уменьшить объем работ.

В случае, когда по снимкам с малым фокусным расстоянием возникают проблемы в дешифрировании требуемых контуров, желательно выполнить фотографирование как короткофокусным АФА, так и длиннофокусным. Хотя в подавляющем большинстве случаев короткофокусные АФА позволяют обеспечить как требуемую точность определения координат точек местности, так и возможности дешифрирования.

В случае выполнения аэрофотосъемки для создания и обновления топографических карт и планов при поддержке GPS-измерений с определением координат центров фотографирования достаточно иметь редкую

сеть опорных точек и довольно мелкий масштаб фотографирования 1:М, который можно определить по формулам:

а) для обеспечения заданной точности определения плановых координат:

$$M_1 = \frac{m_{x,y}}{1,5\sigma}; \quad (5)$$

б) для обеспечения точности определения высот:

$$M_2 = \frac{m_z \cdot b}{1,63 \cdot f \cdot \sigma}, \quad (6)$$

где  $m_{x,y}, m_z$  – СКО определения координат;

$\sigma$  – точность измерения координат на аэрофотоснимках. При использовании цифровых технологий и при условии, что сканирование снимков осуществлялось на фотограмметрическом сканере,  $\sigma = 0,010$  мкм.

$f$  – фокусное расстояние АФА;

$b$  – базис фотографирования в масштабе снимка.

При необходимости обеспечить точность как планового положения точек, так и высот, из рассчитанных масштабов выбирают более крупный, например, для обеспечения точности определения высот; в этом случае можно сократить число плановых опознаков.

При построении сетей блочной фототриангуляции при поддержке GPS-данных порой достаточно иметь несколько опознаков на блок, состоящий из сотен снимков. А если не требуется высокая точность, то можно вообще обойтись без опорных точек.

При проектировании линейных сооружений, как правило, требуется одномаршрутная аэрофотосъемка (АФС). Даже в этом случае полоса аэрофотосъемки будет значительно больше требуемой (100 м). Однако если в случае блочной фототриангуляции и при наличии координат центров фотографирования, полученным по данным GPS, можно обойтись вообще без опознаков, то при одномаршрутной аэрофотосъемке построить сеть фототриангуляции, опирающуюся только на центры фотографирования, невозможно, так как она будет вращаться относительно оси маршрута. Точность построенной сети будет ниже. Это объясняется тем, что одномаршрутная сеть менее жесткая, т.е. имеет меньшее число внутренних связей, чем блочная, и в большей мере деформируется в результате накопления погрешностей. Так что при проектировании одномаршрутной фототриангуляции для достижения высокой точности необходима довольно густая сеть опознаков.

Например, для блока, состоящего из 400 снимков, достаточно 10 опознаков. На маршрут, состоящий из 400 снимков, требуется 100 – 200 опознаков в зависимости от требуемой высоты сечения рельефа.

Поэтому при проектировании АФС необходимо в каждом конкретном случае рассматривать целесообразность выполнения двухмаршрутной АФС за счет сокращения опорных точек.

Точки для создания модели местности заданного масштаба и ориентированной относительно геодезической системы координат получают при построении сетей пространственной фототриангуляции, например, на цифровых фотограмметрических станциях (ЦФС).

### Стерефотосхемы и их применение

При изысканиях линейных сооружений применяют фотосхемы, изготовленные из нетрансформированных снимков, фотосхемы, составленные из масштабированных снимков, фотосхемы с нанесенными горизонталями и стерефотосхемы.

*Фотосхемы без горизонталей* используют в тех случаях, когда основным препятствием для выбора трассы сооружения является размещение тех или других деталей местности в плане: озер, болот и т.д.

В большинстве случаев важное значение при трассировании имеет рельеф местности. Поэтому широкое применение приобрели *стерефотосхемы*, которые позволяют получить стереоэффект. По стерефотосхемам выбирают мостовые переходы, определяют водосборную площадь, находят наиболее выгодное местоположение сооружений, производят сравнительный анализ вариантов трассы и т.д.

Стерефотосхемы изготавливают из нетрансформированных снимков. Предварительно под стереоскопом просматривают снимки и намечают в зоне тройного продольного перекрытия по две четкие контурные точки с примерно одинаковыми отметками. Наколотые точки переносят на соседние снимки. Расположение точек показано на рис. 11.

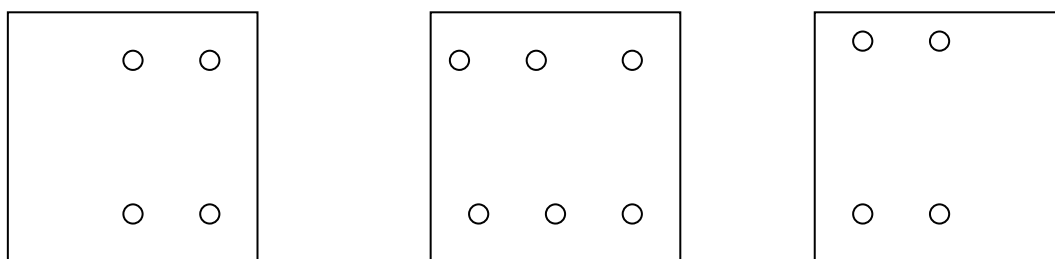


Рис. 11

По намеченным точкам снимки разрезаются. Порезы делают по прямым линиям. На полученных половинках подписывают номер снимка и название половинки – правая или левая. Из половинок снимков составляют две фотосхемы: одну из левых, другую из правых. Составленные маршрутные «левые» и «правые» фотосхемы монтируют в «левые» и «пра-

вые» площадные фотосхемы. Разрезы между маршрутами делают также по прямым линиям по одним и тем же точкам. Такие фотосхемы дают возможность получить модель большого участка местности, что значительно облегчает решение проектировочных задач. Для проектирования трассы под стереоскопом детально оценивают условия местности, выявляют места с неблагоприятными условиями для строительства проектируемых сооружений, намечают контрольные точки или зоны обязательного прохождения их трассой и определяют места наиболее целесообразного расположения сооружения или его частей.

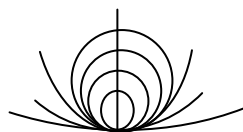


Рис. 12

Проектную линию между контрольными точками трассы отмечают на стереофотосхеме с подбором целесообразных элементов кривых и корректировкой положения углов поворота исходя из сложившихся условий местности.

Подбор кривых осуществляется по лучшей вписываемости в углы поворота трассы при помощи специальных шаблонов, изготовленных на прозрачном пластике (рис. 12). Для этого в зоне поворота трассы укладывают шаблон кривых и подбирают такую кривую, которая лучше всех остальных вписывалась бы в склоны стереомодели.

Запроектированная с помощью стереофотосхемы трасса уточняется при стереотрассировании на фотограмметрических приборах.

### Трассирование линейных сооружений

Так же, как и по картам, при трассировании линейных сооружений можно применить способ попыток. В этом случае трассирование ведется вдоль направлений, предварительно выбранных на фотосхемах. Для трассирования можно использовать любой стереофотограмметрический прибор, в том числе и цифровую фотограмметрическую станцию.

По сориентированным аэрофотоснимкам определяют координаты пикетов. Для этого, двигаясь по запроектированной трассе, наводят измерительную марку на определяемые точки. В качестве пикетов выбирают точки вдоль намеченной на фотосхеме трассы, имеющие характерные перегибы рельефа. Вычислить расстояния между точками и выделить пикеты не представляет труда.

Углы поворота трассы можно измерить на фотосхемах транспортиром. При определении углов поворота трассы на фотосхеме, если местность всхолмленная, в положение вершин поворота необходимо ввести поправки за рельеф по формуле

$$\delta h = \frac{r \cdot h}{H}, \quad (7)$$

где  $r$  – расстояние от центральной точки снимка до угла поворота;  
 $h$  – превышение точки относительно средней плоскости снятого участка;  
 $H$  – высота фотографирования.

Однако при работе на ЦФС проще определить углы поворота непосредственно по приращениям координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  прямолинейных участков трассы (рис. 13).

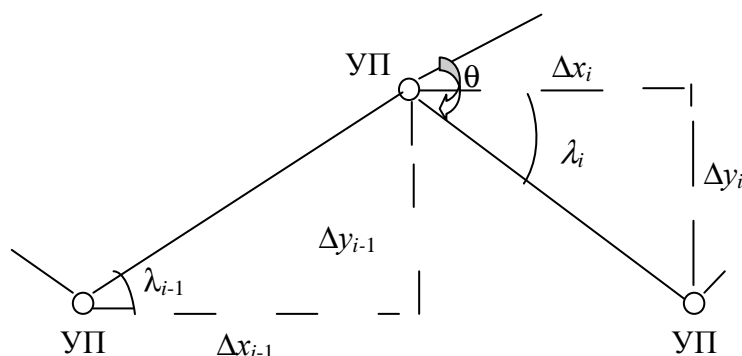


Рис. 13

В соответствии с рис. 13 угол поворота трассы  $\theta$  можно вычислить через углы  $\lambda_i$ , которые определяются по формуле

$$\operatorname{tg} \lambda_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}, \quad (8)$$

тогда угол поворота трассы  $\theta$  будет

$$\theta = \lambda_i \pm \lambda_{i-1}. \quad (9)$$

Пикетаж на кривых рассчитывается по общепринятой методике. Одновременно сообразуясь с условиями местности, намечают поперечники.

По полученным отметкам и расстояниям необходимо построить продольный профиль, пользуясь которым можно наметить проектную трассу, разместить ее под уклоном либо требуемым, либо не превышающим заданного, оценить объем выемок или насыпей и т.д. В случае необходимости намечается другое направление, по которому таким же образом строится продольный профиль. Из всех полученных вариантов выбирается наилучший.

Применительно к ЦФС РОТОМОД процедуру трассирования можно выполнить либо в модуле StereoDraw, либо в модуле DTM. При использовании модуля DTM наличие ортофотоплана значительно облегчит процесс выноса запроектированной трассы в натуру.

### **Перенесение проекта трассы с материалов аэрофотосъемки в натуру**

Имеется два основных метода перенесения проекта трассы в натуру: метод опознавания контуров и вешения створов и метод прокладки магистрального хода.

В первом случае вблизи запроектированной трассы намечают резко выраженные контурные точки местности, которые легко опознать в натуре. Находят эти точки на местности и провешивают между ними створы. Вдоль полученных створов откладывают расстояния до точек или линии трассы.

Наиболее просто и быстро направления прямолинейных элементов трассы могут быть найдены в тех случаях, когда опознанные контурные точки разместились непосредственно на трассе или ее продолжениях (рис. 14).

Так же быстро и просто находят направления прямолинейных элементов трассы, когда опознанные контурные точки размещены вблизи трассы или находятся на контурах, пересекающих ее. В таких случаях, провешив створы между опознанными контурными точками, вдоль по створу откладывают ранее определенные, например, по ортофотоплану, расстояния до линии трассы.

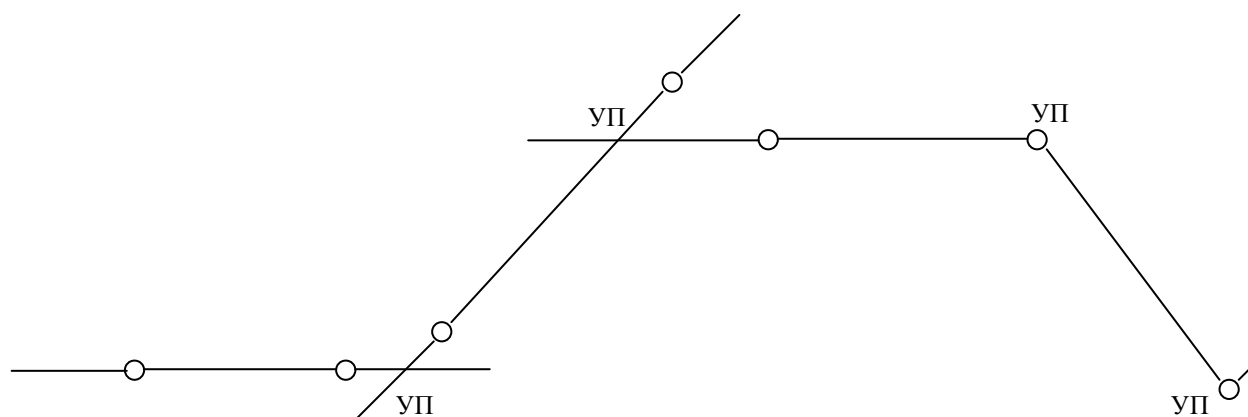


Рис. 14

Для определения точек трассы используют также способы: перпендикуляров, полярных координат, угловых, линейных и комбинированных засечек (рис. 15). Метод опознавания контуров и вешения створов применяется в условиях открытой, контурной местности. Вершины углов поворота трассы находят на пересечении смежных створов. Положение главных точек горизонтальных кривых устанавливают отложением тангенсов кривых от углов поворота трассы. Расположение плюсовых и пикетных точек определяется отложением по трассе соответствующих проектных расстояний от опознанных в натуре контурных точек.

Способы перенесения проекта трассы в натуре следует подбирать в соответствии с обстановкой и в зависимости от имеющегося оборудования. При использовании второго метода для перенесения проекта трассы в натуре прокладывают на местности магистральный ход, от точек и линий которого откладывают необходимые данные для разбивки трассы. Этот метод применяют преимущественно в бесконтурной местности.

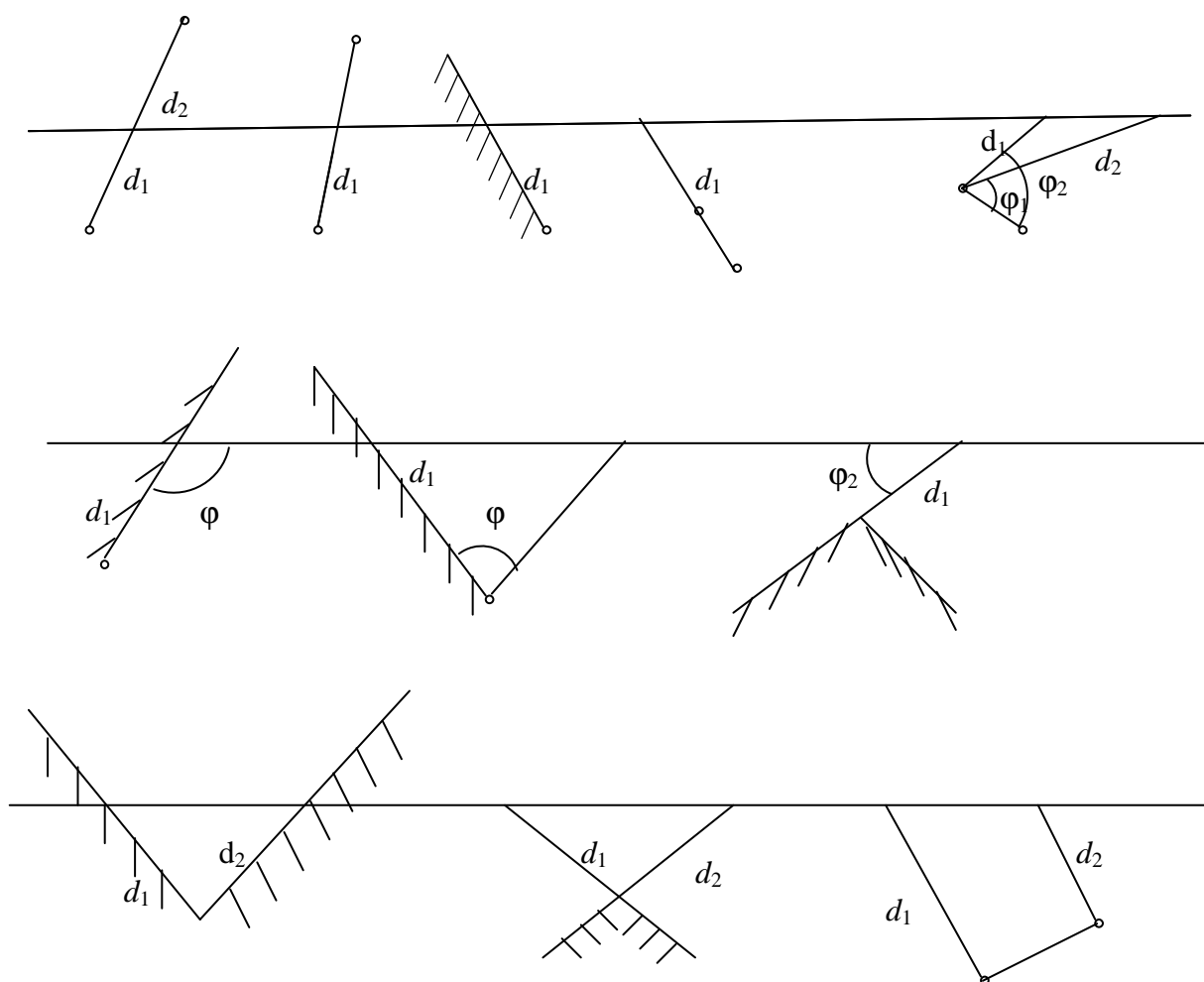


Рис. 15

Прокладка магистрального хода для перенесения трассы в натуру облегчается в результате использования сети опорных точек, развиваемой в зоне трассирования для плано-высотного обоснования аэрофототопографических работ.

Запроектированную трассу переносят на местность с точек магистрального хода, используя промеры, засечки и т.д.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ «Аэрофототопографический метод создания карт и планов»

## Введение

Наиболее широко распространенными в настоящее время методами создания карт и планов являются аэрофототопографические методы.

Курсовая работа состоит из следующих разделов:

1. Физико-географическая характеристика объекта работ.
2. Расчет высоты сечения рельефа.
3. Выбор способа аэрофотографической съемки.
4. Выбор масштаба залета, фокусного расстояния аэрофотоаппарата, высоты фотографирования и расстояния между высотными опознаками.
5. Выбор масштаба залета, фокусного расстояния аэрофотоаппарата, высоты фотографирования и расстояния между плановыми опознаками.
6. Расчет аэросъемки.
7. Дешифрирование.
8. Проект фотограмметрических работ.

### 1. Физико-географическая характеристика объекта съемки

Используя топографическую карту, дать физико-географическую характеристику объекта съемки. Особое внимание обратить на рельеф, заселенность участка съемки, его залесенность.

### 2. Расчет высоты сечения рельефа

Высота сечения рельефа определяет точность изображения рельефа и влияет на качество производимых работ. Высота сечения рельефа устанавливается в зависимости от масштаба создаваемой карты, преобладающих углов наклона местности и назначения проектируемых карт и планов.

Для различных стадий инженерных работ используются различные масштабы топографических карт с различными значениями высот сечений рельефа, установленными в инструкциях, руководствах и применяемыми на практике.

Хорошо согласуются с требованиями инструкции высоты сечений рельефа  $h$ , вычисляемые по формуле

$$h = l_c i_{cp} M, \quad (2.1)$$

где  $M$  – знаменатель масштаба создаваемого плана или карты;  
 $i_{cp}$  – средний уклон снимаемого участка местности;  
 $l_c$  – расстояние между горизонталями в сантиметрах.



Для удобства проектирования желательно иметь расстояние между горизонталями порядка 1 см.

Очень осторожно следует подходить к выбору сечения рельефа  $h = 0,25$  м, так как средняя квадратическая погрешность проведения горизонталей в данном случае должна быть не более 0,06 м, а такая ошибка может быть вызвана мелкими неровностями картографируемой поверхности. Такую высоту рельефа можно допустить только при съемке спланированных территорий населенных пунктов и участков с твердым покрытием.

*Пример.* Предусмотрено создать план масштаба 1:2000 на участок местности с преобладающими углами наклона  $1,5^\circ$ . Для определения уклона воспользуемся формулой

$$i_{cp} = \operatorname{tg}\alpha_{cp} = 0,0262,$$

где  $\alpha_{cp}$  – средний угол наклона местности.

Рассчитаем высоту сечения рельефа для создаваемой карты по полученным данным, используя формулу (2.1).

$$h = l_c i_{cp} M = 1 \cdot 0,0262 \cdot 2000 = 52,4 \text{ см},$$

т.е. для данного участка целесообразно иметь высоту сечения, равную  $h = 0,5$  метра.

### 3. Выбор способа аэрофототопографической съемки

В зависимости от масштаба создаваемой карты, физико-географических условий района работ, высоты сечения рельефа, обеспеченности предприятия фотограмметрическими приборами и кадрами, сроков выполнения работ аэрофототопографическая съемка может выполняться комбинированным или стереотопографическими способами по одной из следующих технологических схем:

- контурная часть плана создается на основе фотопланов, а рельеф зарисовывается в поле приемами мензуральной съемки;
- контурная часть плана создается на основе фотопланов, а съемка рельефа ведется на фотограмметрических приборах;
- составление контурной части плана и съемка рельефа выполняется на фотограмметрических приборах.

Первый способ съемки называют комбинированным, второй и третий – стереотопографическими.

Для составления оригиналов карт стереотопографическим методом можно применять универсальный способ, основанный на использовании универсальных приборов или компьютеров. Выбор универсального или компьютерного способа создания зависит от имеющихся технологических средств.

Во всех трех схемах создания карт необходимо выполнить следующий комплекс работ:

- аэрофотосъемка;
- плановая, высотная или планово-высотная привязка снимков;
- фотограмметрическое сгущение сети плановых, высотных или планово-высотных опознаков;
- создание фотопланов (для первых двух схем);
- дешифрирование;
- рисовка рельефа, а в третьем случае – рисовка рельефа и контуров на фотограмметрических приборах.

Как следует из технологических схем, планы местности стереотопографическим способом можно создать с использованием фотоплана (вторая схема) или чистой основы (третья схема). Стереотопографическую съемку с использованием фотоплана проектируют в тех случаях, когда контурная нагрузка карты велика, а колебания высот точек местности незначительны и позволяют выполнять трансформирование снимков при небольшом числе зон (2 – 3 зоны). В противном случае стереотопографическую съемку выполняют на чистой основе. Основа представляет собой планшет (такой же, какой готовят для мензульной съемки) с нанесенными на нем опорными точками для ориентирования модели (с опознаками или точками сгущения).

Создание топографических планов с использованием универсальных приборов можно выполнить на фотоплане или чистой основе в зависимости от количества контуров и характера рельефа местности.

Комплекс процессов при создании карт на универсальных приборах с использованием фотопланов следующий:

- трансформирование аэроснимков и создание фотопланов;
- ориентирование снимков на универсальных приборах и рисовка рельефа.

Если вместо фотоплана используют основу с нанесенными на ней опорными точками, то после ориентирования снимков на универсальном приборе выполняют рисовку не только рельефа, но и контуров. На экран прибора в этом случае кладут чистую основу.

Стереотопографическую съемку нецелесообразно проектировать при создании планов масштаба 1:5000 и 1:2000 с высотой сечения рельефа 1 м и 0,5 м на территориях, покрытых сплошной высокой растительностью, так как этот вид съемки не обеспечивает пока заданную точность или же добиться ее можно только большими экономическими затратами, а в масштабах 1:1000 и 1:500 – на объектах с плотной многоэтажной застройкой. В этом случае необходимо проектировать комбинированную съемку.

Компьютерная технология создания плана предусматривает: сканирование снимков, построение сетей фототриангуляции, создание цифровой карты или цифровой модели рельефа (ЦМР), а на основе ЦМР можно получить рельеф местности в горизонталях и ортофотоплан.

#### **4. Выбор масштаба залета, фокусного расстояния аэрофотоаппарата, высоты фотографирования и числа плановых, высотных и планово-высотных опознаков**

В общем случае с экономической точки зрения масштаб фотографирования должен быть всегда мельче масштаба изготавливаемой карты, а планово-высотная геодезическая привязка аэроснимков должна быть как можно реже. В то же время точность изготовленной топографической карты, установленная действующими инструкциями, должна быть обеспечена.

В зависимости от методов составления топографических карт, их точности и способов фотограмметрического сгущения геодезического съемочного обоснования необходимо правильно выбрать основные параметры аэрофото-съемки:

- высоту фотографирования ( $H$ ),
- фокусное расстояние камеры аэрофотоаппарата ( $f$ ),
- масштаб залета ( $1:m$ ),
- густоту плановых, высотных и планово-высотных опорных точек, обеспечивающих заданную точность определения координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  при минимальном объеме полевых и камеральных работ.

##### **4.1. Выбор параметров аэросъемки для рисовки рельефа**

При использовании стереофотограмметрических методов рисовку рельефа проводят на фотограмметрических приборах. Величину  $f$  аэрофотоаппарата (АФА) следует выбирать такой, чтобы обеспечить необходимую точность проведения горизонталей. Рисовку рельефа на фотограмметрических приборах целесообразно проводить по снимкам, полученным с меньшим фокусным расстоянием, чтобы обеспечить необходимую точность проведения горизонталей.

Среднюю квадратическую погрешность определения превышения можно найти из выражения

$$m_h \approx H \frac{m_{\Delta p}}{P}, \quad (4.1)$$

где  $H$  – высота фотографирования;  
 $p$  – значение продольного параллакса;

$m_{\Delta p}$  – средняя квадратическая погрешность измерения разностей продольных параллаксов.

Из выражения (4.1) видно, что точность определения высот точек местности выше, чем меньше высота фотографирования. Заметим, что высота фотографирования находится в прямо пропорциональной зависимости от фокусного расстояния. Значит, точность тем выше, чем меньше фокусное расстояние объектива фотоаппарата.

Предположим, что нам необходимо выполнить аэро съемку в масштабе  $1/m$  двумя аэрофотоаппаратами с разными фокусными расстояниями:

$$\frac{1}{m} = \frac{f_1}{H_1} = \frac{f_2}{H_2}. \quad (4.2)$$

На основании уравнения (4.2) можно заключить, что при  $f_1 < f_2$  и  $H_1 < H_2$ , т.е. высота фотографирования меньше при меньшем фокусном расстоянии аэрофотоаппарата, поэтому рисовку рельефа на фотограмметрических приборах целесообразно проводить по снимкам, полученным с меньшим  $f$ .

Фокусные расстояния у имеющихся в настоящее время аэрофотоаппаратов равны: 70; 100; 140; 200; 350 и 500 мм (в РБ 153 мм).

Объективы с малыми фокусными расстояниями относят к широкоугольным и позволяют заснять большую территорию на одном снимке. Следовательно, использование широкоугольных объективов позволяет уменьшить число снимков, что способствует экономии фотоматериалов и трудовых затрат.

Следует однако отметить, что в ряде случаев при развитии пространственной фототриангуляции и при съемке рельефа приходится применять (вынужденно) аэрофотоаппараты с  $f = 100, 140$ , а иногда и 200 мм.

При выборе фокусного расстояния нужно принимать во внимание высоту фотографирования, которая должна быть не менее 300 м. Полеты на более низкой высоте нежелательны из соображений техники безопасности. Кроме того, изображение может быть нерезким, так как аэрофотоаппараты отфокусированы на бесконечность, а при использовании быстролетных самолетов изображение будет «смазанным». Максимальная высота фотографирования 8000 м.

Нецелесообразно, а порой и не возможно использовать аэрофотоаппараты с  $f = 70$  мм при съемке всхолмленной и горной местности. В горной местности по снимкам, полученным аэрофотоаппаратом с  $f = 70$  мм, затруднительно, а порой и невозможно стереоскопическое наблюдение. При больших перепадах рельефа на универсальных приборах приходится обрабатывать снимки по зонам. Процесс этот неудобен, трудоемок и обуславливает дополнительное накопление погрешностей.

Рассмотрим, как можно рассчитать величину  $f$ , чтобы обработать стереопару на универсальном приборе в одну зону.

Масштабы построения модели на универсальных приборах выбирают в соответствии с разностями высот точек местности. Если эти разности будут превышать возможный диапазон перемещений базисной каретки по высоте, что потребует перехода из зоны в зону, то целесообразно выбрать другой вертикальный масштаб или фокусное расстояние аэрофотоаппарата.

Горизонтальный масштаб выбирают всегда равным масштабу создаваемого плана. Между горизонтальным и вертикальным масштабом существует следующая зависимость:

$$M_g = M_z \frac{f}{F_{np}}, \quad (4.3)$$

где  $F_{np}$  – фокусное расстояние стереоприбора.

Для стереопроектора Романовского (СПР) можно устанавливать  $F_{np}$  в пределах от 150 до 300 мм, для стереографа Дробышева (СД) и стереографа ЦНИИГАиК (СЦ)  $F_{np}=130$  мм.

Если рисовку рельефа предполагают выполнить на СПР, то вертикальный масштаб устанавливают на основании неравенства

$$M_g \geq \frac{h}{0,11}. \quad (4.4)$$

Для СД и СЦ существует допуск на вертикальный масштаб, который рассчитывается по следующей формуле:

$$M_g \geq \frac{h}{0,06}. \quad (4.5)$$

*Пример.* Допустим, что на участок местности, на котором разность экстремальных отметок равна 330 м, выполнена аэросъемка с  $f=70$  мм. Предполагается выполнить рисовку рельефа на СПР. Масштаб создаваемой карты М 1:10000. На основании выражения (4.4)

$$M_g \geq \frac{300}{0,11} = 2727.$$

Установим на каретке фокусных расстояний СПР  $F=200$  мм. Тогда на основании выражения (4.3)  $M_g = 10000 \frac{70}{200} = 3500$ , т.е. выбранные параметры позволяют выполнить рисовку рельефа в одной зоне.

На тот же участок запроектируем создание карты М 1:5000.

$$M_g = 5000 \frac{70}{200} = 2333 < 2727.$$

Чтобы обработать снимки на СПР в одну зону, необходимо выполнить аэрофотосъемку с  $f > 70$  мм. Решим выражение (4.3) относительно  $f$ .

$$f = \frac{M_6}{M_2} F = 109 \text{ мм},$$

т.е. для того, чтобы можно было зарисовать рельеф на СПР в одной зоне, необходимо выполнить аэрофотосъемку аэрофотоаппаратом с  $f = 140$  мм.

## 4.2. Выбор параметров аэросъемки для создания фотоплана

Если при создании карты предусмотрено использовать фотоплан, то величину фокусного расстояния выбирают таким образом, чтобы смещения контурных точек на фотоплане, вызванные рельефом местности, были допустимыми и число зон трансформирования не превышало трех при обычном способе и пяти-шести при создании фотоплана методом оптического монтажа.

Величину смещения контурных точек  $\delta_h$ , вызванную влиянием рельефа, можно определить по формуле

$$\delta_k = \frac{rh}{fM}, \quad (4.6)$$

где  $M$  – знаменатель масштаба создаваемого плана;

$r$  – радиус-вектор на нетрансформированном снимке;

$h$  – превышение точек местности относительно средней горизонтальной плоскости.

На основании выражения (4.6) можно заключить, что аэрофотосъемку целесообразно производить длиннофокусными аэрофотоаппаратами, так как с увеличением фокусного расстояния уменьшается величина смещения.

Превышение точек местности относительно средней плоскости могут достигать значительных величин. В таком случае трансформирование аэроснимков выполняют по зонам. Для этого рассчитывают допустимое превышение  $h_{дон}$ , при котором смещение точек за рельеф не превысит на плане 0,4 мм, по формуле

$$h_{дон} = \frac{0,4Mf}{r} \quad (4.7)$$

и количество зон трансформирования

$$n = \frac{A_{max} - A_{min}}{2h_{дон}}, \quad (4.8)$$

где  $A_{max}, A_{min}$  – максимальная и минимальная отметки на данный аэроснимок,

$h_{дон}$  – допустимое превышение, при котором смещения на трансформированном снимке не превысят 0,4 мм.

*Пример.* Рассчитаем величину  $f$  аэрофотоаппарата, если необходимо создать фотоплан масштаба 1:5000 при  $h = A_{\max} - A_{\min} = 50$  м,  $r = 80$  мм.

Примем фокусное расстояние 500 мм и произведем расчет количества зон трансформирования на участок работ.

$$h_{\text{дон}} = \frac{0,4Mf}{80} = \frac{0,4 \cdot 5000 \cdot 500}{80} = 12,5 \text{ м,}$$

где  $M$  – масштаб проектируемой карты.

Выполним расчеты по формуле (4.8) с учетом значения  $h_{\text{дон}} = 12,5$ , полученного по формуле (4.7).

Тогда число зон трансформирования

$$n = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2h_{\text{дон}}} = \frac{50}{2 \cdot 12,5} = 2.$$

Трансформирование необходимо будет выполнить в две зоны, что можно считать приемлемым.

При количестве зон от трех до шести изготовление фотоплана рекомендуется производить по принципу «негатив-планшет». Масштаб фотографирования выбирают таким, чтобы на одном аэронегативе изобразилась территория, занимаемая трапецией. Вблизи углов рамок трапеции выбирают трансформационные точки. Положение этих точек получают в результате построения сетей фототриангуляции аналитическим способом или в поле – геодезическими методами.

При создании фотопланов по принципу «негатив-планшет» аэрофотосъемку выполняют по заданным, как правило маркированным, маршрутам с продольным перекрытием  $P = 80$  %.

Приняв  $q = 30 - 35$  %, рассчитывают масштаб фотографирования по формуле

$$m = \frac{100B_y}{l(100 - q)}, \quad (4.9)$$

где  $l$  – формат снимка;

$B_y$  – расстояние между маршрутами, равное размеру топографической трапеции.

Для составления листов городских топографических планов принята квадратная разграфка. Для масштаба 1:5000 принята разграфка 40×40 см, для масштаба 1:2000 и 1:1000 – 50×50 см.

Размеры топографических трапеций масштаба 1:10000 даны в табл. 1.

После выбора масштаба фотографирования необходимо учитывать коэффициент увеличения фототрансформатора  $k_t$ , равный

$$k_t = \frac{m}{M}, \quad (4.10)$$

где  $m$  – знаменатель масштаба снимков;  $M$  – знаменатель масштаба создаваемого плана.

Таблица 1

Широта северной рамки трапеции	Длина по средней параллели, км	Длина по меридиану, км	Площадь, км <sup>2</sup>
56°	3,9	4,64	18,10
55°	4,0	4,64	18,56
54°	4,1	4,64	19,02
53°	4,2	4,64	19,47

Коэффициент трансформирования  $k_t$  зависит от типа фототрансформатора и может колебаться в пределах, указанных в табл. 2.

Таблица 2

Тип трансформатора	SEG-VI	ФТБ	ФТМ	УТП-2
Коэффициент трансформирования	0,5-6,5	0,6-5,7	1-6,8	0,25-4,0

Следует отметить, что чрезмерное уменьшение масштаба снимков приводит к значительной потере резкости изображения на трансформированных снимках и затрудняет дешифрирование контуров. Поэтому при трансформировании снимков на фототрансформаторе SEG-V качество и точность фотопланов будет приемлемым при 4-5 кратном соотношении масштабов снимка и плана. При использовании других приборов соотношение масштабов должно быть не более 2-3 кратного.

После выбора масштаба фотографирования и фокусного расстояния определяют высоту фотографирования

$$H = f \cdot m.$$

Высоты полета должна быть в интервале 300 – 8000 метров.

### 4.3. Расчет расстояний между опознаками

Для трансформирования аэроснимков необходимо каждый снимок обеспечить опорными (трансформационными) точками. При рисовке рельефа на универсальных приборах по аэроснимкам также необходимо каждую стереопару обеспечить опорными точками. Положение этих точек можно получить либо в поле (полевая привязка аэроснимков), либо камерально путем построения сетей фототриангуляции. Последнее значительно сокращает стоимость изготовления карты по сравнению со сплошной привязкой аэроснимков геодезическими методами.

При построении сетей фототриангуляции в поле определяются только те точки (опознаки), которые впоследствии будут использованы для ориентирования построенной сети. Количество опознаков, определяемых в поле, зависит от масштаба создаваемого плана, проектируемой высоты сечения рельефа, масштаба залета и других факторов. Опознаки, как прави-



ло, располагаются рядами поперек аэросъемочных маршрутов на поперечных перекрытиях.

Пространственная фототриангуляция обычно совершенно самостоятельно развивается по всем смежным маршрутам, ограниченным параметрами твердых опорных точек.

Для проектирования густоты и месторасположения опознаков необходимо рассмотреть проектируемую точность координат и высот точек, определяемых в процессе развития фототриангуляции, исходя из предположения, что точность координат и высот должна соответствовать действующей инструкции [7].

Наиболее слабо определяемыми из фотограмметрических построений являются точки, расположенные в середине между опорными точками.

Проектирование фототриангуляции – процесс, предшествующий производству. Задавая точность определения координат наиболее слабо определяемых точек, можно рассчитать в зависимости от основных параметров аэрофотосъемки, масштаба создаваемой карты и методов обработки протяженность ряда фототриангуляции.

#### 4.3.1. Расчет расстояний между высотными опознаками

При проектировании стереотопографической съемки к вопросу о выборе высоты фотографирования, масштаба залета и количества базисов фотографирования между опознаками подходят комплексно в зависимости от требуемой точности окончательных результатов и имеющегося оборудования.

Соотношение между масштабом создаваемого плана и аэросъемки при создании карт на универсальных приборах не должно превышать величин, указанных в табл. 3.

Таблица 3

Тип прибора	СПР	СД	СЦ
$\frac{m}{M}$	<2	<3	<6

По выбранному масштабу фотографирования  $1:m$  и величине фокусного расстояния АФА рассчитываем высоту фотографирования

$$H = m \cdot f, \quad (4.11)$$

которая должна находиться в пределах  $300 < H < 8000$ .

При установлении задаваемой точности наиболее слабо определяемых точек воспользуемся контрольными допусками, приведенными в [7].

Допустимые средние погрешности наиболее слабо определяемых точек сети фототриангуляции по отношению к пунктам геодезического съемочного обоснования приведены в табл. 4.

Таблица 4

Масштабы карт и планов	Сечение рельефа, м	Средние ошибки точек фототриангуляции, м
1:500 – 1:1000	0,5	0,13 – 0,14
1:2000 – 1:5000	0,5	0,14 – 0,17
1:500 – 1:10000	1,0	0,27
1:500 – 1:25000	2,0	0,67
1:1000 – 1:25000	2,5	0,9
1:1000 – 1:25000	5,0	2,4

Проектируемые в табл. 7 погрешности могут быть увеличены при изготовлении топографических карт с сечением рельефа через 2,5 м и более в лесных, горных и др. труднодоступных районах.

Число базисов фотографирования  $n$  между высотными опорными точками и высота фотографирования для случая, когда сети фототриангуляции совершенно самостоятельно развиваются по всем смежным маршрутам при продольном перекрытии аэроснимков 60 %, определяется совместно с использованием формулы

$$M_Z = c_Z \cdot H \cdot f^2 \cdot m_q \cdot n \cdot \sqrt{n+3} \quad (4.12)$$

$M_Z$  – средняя квадратическая погрешность определения отметки в наиболее слабом месте – середине ряда;

$c_Z$  – коэффициент, зависящий от фокусного расстояния и способа сгущения;

$m_q$  – средняя квадратическая погрешность определения поперечных параллаксов;

$H$  – высота фотографирования в метрах;

$f$  – фокусное расстояние АФА;

Значение коэффициента  $C_z$  при построении сетей пространственной фототриангуляции на универсальных приборах выбирается из табл. 5, а при аналитическом способе сгущения – из табл. 6.

Таблица 5

$f$	70 мм	100 мм	140 мм	200 мм
$C_{zУП}$	0,00000035	0,00000032	0,00000029	0,00000029

Таблица 6

$f$	70 мм	100 мм	140 мм	200 мм
$C_{zАН}$	0,00000029	0,00000026	0,00000023	0,00000023

Точность определения средних квадратических погрешностей параллаксов  $m_q$  зависит от метода сгущения сетей фототриангуляции и используемого

оборудования. Для аналитических методов можно принять  $m_q = 0,015$ . При построении сетей на универсальных приборах  $m_q = 0,025$  мм.

### 4.3.2. Расчет расстояний между плановыми опознаками

Расстояние между плановыми опознаками выбирается в зависимости от требуемой точности планового положения точек.

Инструкцией предусмотрено, что средняя ошибка планового положения точек на карте не должна превышать 0,4 мм.

В случае, когда пространственная фототриангуляция развивается по всем смежным маршрутам, для формата аэроснимков  $18 \times 18$  см, имеющих продольное перекрытие примерно 60 %, точность планового положения наиболее слабо определяемой точки фототриангуляции можно рассчитать по формуле

$$M_{d_i} = c \cdot H \cdot f \cdot m_q \cdot n \cdot \sqrt{n+3} , \quad (4.13)$$

где  $M_{d_i}$  – средняя квадратическая погрешность (с.к.п.) определения планового положения точки, расположенной в середине сети;

$m_q$  – с.к.п. определения поперечных параллаксов;

$n$  – число базисов фотографирования между смежными парами плановых опорных геодезических точек, ограничивающих секцию маршрута;

$f$  – фокусное расстояние АФА;

$c$  – коэффициент, зависящий от величины фокусного расстояния  $f$  аэрофотоаппарата;

$H$  – высота фотографирования.

Для того чтобы найти среднюю квадратическую ошибку планового положения точек на местности, воспользуемся формулой

$$M_d = 0,4M , \quad (4.14)$$

где 0,4 мм – средняя ошибка планового положения точек на карте;

$M$  – знаменатель масштаба создаваемой карты.

Коэффициент  $c$  при построении сетей фототриангуляции на универсальных приборах выбирается из табл. 7, а при аналитических методах – из табл. 8.

Таблица 7

$f$ , мм	70	100	140	200	350	500
$C_{УП}$	0,0000494	0,0000427	0,0000410	0,0000404	0,0000402	0,0000402

Таблица 8

$f$ , мм	70	100	140	200	350	500
$C_{АН}$	0,0000395	0,0000342	0,0000328	0,0000323	0,0000322	0,0000322

## 5. Расчет аэрофотосъемки

После выбора фокусного расстояния ( $f$ ) аэрофотоаппарата, высоты ( $H$ ) и масштаба фотографирования ( $1:m$ ) площадь подлежащего фотографированию объекта разбивают на съемочные участки. Границами съемочных участков служат, как правило, рамки топографических трапеций. Съемочные участки фотографируются аэрофотоаппаратами с одинаковым фокусным расстоянием непрерывными маршрутами в один – два полета. В равнинных районах, когда в пределах площади объекта отношение разности максимальной и минимальной отметок к высоте фотографирования не превышает 0,2, т. е.

$$\frac{A_{\max} - A_{\min}}{H} \leq 0,2, \quad (5.1)$$

съемочные участки проектируются с максимальным по условиям самолетовождения длинами маршрутов. Для средних условий самолетовождения длина съемочных маршрутов определяется в зависимости от знаменателя масштаба фотографирования по формуле

$$D_{X(\partial on)} = 0,002 \cdot m \quad (5.2)$$

с последующим округлением до длины целого числа съемочных трапеций. Ширина съемочного участка берется такой, чтобы весь участок снимался не более чем в два маршрута.

Таблица 9

Размеры съемочных участков

Масштаб фотографирования	Длина участка, км	Ширина участка, км
1:50000	100	37 – 74
1:30000	60	37 – 55
1:17000	35	18 – 37
1:8000	20	9 – 18
1:4000	10	8 – 9

Когда на площади объекта съемки

$$\frac{A_{\max} - A_{\min}}{H} > 0,2, \quad (5.3)$$

то для каждой съемочной трапеции по максимальной  $A_{\max}'$  и минимальной  $A_{\min}'$  высотам точек местности рассчитывают средний уровень трапеции

$$A_{cp}' = \frac{A_{\max}' + A_{\min}'}{2} \quad (5.4)$$

и отношение разности экстремальных высот точек местности  $h'$  к высоте фотографирования  $H$

$$\frac{h'}{H} = \frac{A_{\max}' - A_{\min}'}{f \cdot m}. \quad (5.5)$$

Съемочные трапеции, для которых  $\frac{h'}{H} < 0,2$  могут объединяться в съемочные участки при условии, что разница в высотах их средних уровней не превышает одной десятой высоты фотографирования

$$|A_{cp1}' - A_{cp2}'| \leq 0,1H. \quad (5.6)$$

Если последнее требование выполнить нельзя, то каждую трапецию снимают отдельно.

Съемочной трапецией является топографическая трапеция определенного масштаба в зависимости от масштаба фотографирования (табл. 10).

Таблица 10

Масштаб фотографирования	Масштаб топографической трапеции, являющейся съемочной трапецией
1:20000 – 1:35000	1:50000
1:10000 – 1:19000	1:25000
1:5000 – 1:9500	1:10000
1:1000 – 1:4500	1:5000

Схема объекта с разбивкой его на съемочные трапеции приведена на рис. 1.

1 621 0,08 393 507	2 656 0,11 314 485	3 663 0,11 323 493	4 681 0,11 337 509	5 612 0,06 441 526				
6 691 0,08 394 513	7 642 0,11 317 479	8 658 0,11 314 486	9 661 0,11 321 491	10 701 0,13 335 518				
11 643 0,08 390 516	12 686 0,10 995 540	13 601 0,10 307 454	14 707 0,13 328 517	15 1196 0,18 656 926	16 1204 0,17 693 948	17 1307 0,17 793 1050	18 1201 0,19 639 920	
	19 789 0,20 193 491	20 791 0,16 203 497	21 809 0,20 218 513	22 1157 0,16 671 914	23 1195 0,16 713 954	24 1301 0,20 710 1006	25 1223 0,14 793 1008	
	26 799 0,20 201 497	27 803 0,20 221 512	28 820 0,19 237 528	29 835 0,19 248 542	30 1147 0,16 663 905			

Рис. 1

Рекомендуемый порядок записи приведен на рис. 2.

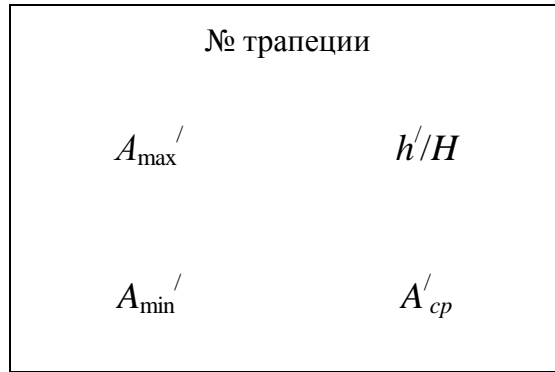


Рис. 2

Затем выполняется расчет всех необходимых элементов по съемочному участку. Заданные перекрытия аэроснимков рассчитывают исходя из масштаба фотографирования, колебаний рельефа местности и применяемого аэрофотоъемочного оборудования по формулам

$$p = p_0 + \Delta p_m + \Delta p_\alpha + \Delta p_h;$$

$$q = q_0 + \Delta q_m + \Delta q_\alpha + \Delta q_h, \quad (5.7)$$

где  $p_0, q_0$  – минимальные продольное и поперечное перекрытия снимков;  
 $\Delta p_m, \Delta q_m$  – навигационные поправки;  
 $\Delta p_\alpha, \Delta q_\alpha$  – пилотажные поправки;  
 $\Delta p_h, \Delta q_h$  – поправки за рельеф.

Минимальное продольное перекрытие  $p_0 = 56 \%$ , поперечное перекрытие  $q_0 = 15 \%$ .

Навигационные поправки зависят от масштаба фотографирования. Их величины приведены в табл. 11.

Таблица 11

Масштаб фотографирования	Навигационные поправки	
	$\Delta p_m, \%$	$\Delta q_m, \%$
1:4500 и крупнее	6	15
1:5000 – 1:9000	5	13
1:10000 – 1:24000	4	11
1:25000 – 1:34000	3	9
1:35000 и мельче	2	7

Пилотажные поправки принимаются одинаковыми для продольного и поперечного перекрытий. Они зависят от фокусного расстояния аэрофотоаппарата и точности стабилизации его оптической оси по вертикали. Причем при гиросtabilизации аэрофотоаппарата поправки  $\Delta p_\alpha, \Delta q_\alpha$  уменьшаются в три раза. Их величины приведены в табл. 12.

Таблица 12

Фокусное расстояние АФА, мм	Пилотажные поправки
	$\Delta p_{\alpha}$ , % , $\Delta q_{\alpha}$ , %
до 200	3
350	5
500	8

Поправки в перекрытиях аэроснимков за рельеф местности рассчитывают по формулам

$$\Delta p_h = 0,5 \frac{h}{H} (100 - p_0);$$

$$\Delta q_h = 0,5 \frac{h}{H} (100 - q_0), \quad (5.8)$$

где  $h$  – превышение между экстремальными отметками.

Вычисление всех необходимых элементов удобно представить в табл. вида 13

Таблица 13

Элементы	Условные обозначения	Расчетная формула	Значение элементов
Номера съемочных участков	Римские цифры	-	
Длина, м	$D_x$	с карты	
Ширина, м	$D_y$	с карты	
Максимальная отметка местности, м	$A_{\max}$	с карты	
Минимальная отметка местности, м	$A_{\min}$	с карты	
Критерий рельефа	$h/H$	$(A_{\max} - A_{\min})/H$	
Высота среднего уровня, м	$A_{cp}$	$(A_{\max} + A_{\min})/2$	
Абсолютная высота полета при фотографировании, м	$H_{abc}$	$H + A_{cp}$	
Относительная высота полета при фотографировании, м	$H_{отн}$	$H + A_{cp} - A_{aэp}$	
Продольное перекрытие аэроснимков, %	$p$	$p = p_0 + \Delta p_m + \Delta p_{\alpha} + \Delta p_h$	
Поперечное перекрытие аэроснимков, %	$q$	$q = q_0 + \Delta q_m + \Delta q_{\alpha} + \Delta q_h$	
Базис фотографирования, м	$B_x$	$\frac{l \cdot m}{100} (100 - p)$	
Расстояние между маршрутами, м	$B_y$	$\frac{l \cdot m}{100} (100 - q)$	
Количество аэроснимков в маршруте	$N_x$	$D_x/B_x + 3$	
Количество маршрутов	$N_y$	$D_y/B_y + 1$	
Общее количество аэроснимков	$N$	$kN_x N_y$	

$k$  – коэффициент увеличения количества аэроснимков за счет различных ошибок: неточного самолетовождения и управления аэрофотооборудованием. Для равнинной местности  $k = 1,1$ , для горных районов  $k = 1,15$ .

## 6. Дешифрирование

Дешифрированием называется процесс изучения изображений аэроснимков для обнаружения, опознавания и раскрытия содержания имеющихся в натуре различных объектов и элементов местности, подлежащих отображению на топографической карте; определение их качественных и количественных характеристик, своеобразных свойств и особенностей. Топографическое дешифрирование является одним из основных процессов технологической схемы создания карт. Различают дешифрирование топографическое и специальное. Топографическое дешифрирование выполняют с целью составления топографических карт и планов; специальное выполняется для геологических, почвенных, лесохозяйственных, сельскохозяйственных, военных и других целей.

Для того чтобы наиболее достоверно выполнить дешифрирование, необходимо иметь аэрофотоснимки, обладающие большой информативной емкостью, хорошим фотокачеством и большой разрешающей способностью. Топографическое дешифрирование на производстве выполняется на контактных отпечатках, фотосхемах, фотопланах, полученных преимущественно на глянцевой фотобумаге, которая обладает большей информативной емкостью по сравнению с матовой. Но на матовой бумаге лучше ложится карандаш и тушь, поэтому иногда используют дублированные отпечатки на глянцевой и матовой фотобумаге. Для топографических целей используют, в основном, черно-белые снимки. Цветные и спектрзональные снимки находят применение при специальных видах дешифрирования (лесное, для геологических целей и др.).

В зависимости от технологии создания карт или планов, характера и изученности района работ применяют следующие методы дешифрирования снимков: полевой, камеральный, комбинированный и аэровизуальный.

Комбинированный способ дешифрирования или камерально-полевой в настоящее время является основным. В комбинированном методе дешифрирования аэроснимков большая часть работы по обнаружению и распознаванию объектов выполняется в камеральных условиях, а в поле выявляются те объекты или их характеристики, которые невозможно вскрыть камерально. При наличии свежих материалов фотографических съемок или исполнительной документации в крупных масштабах сначала выполняют камеральное дешифрирование, которое подвергают полевому контролю, что способствует сокращению объема и сроков полевого дешифрирования, снижает стоимость работ и повышает производительность труда.



Кроме того, результаты камерального дешифрирования в этом случае проходят полевой контроль.

При доработке камерального дешифрирования полевыми методами опознают объекты, которые были неуверенно опознаны на аэрофотоснимках из-за малых размеров, слабого контраста или по другим причинам, устанавливают недостающие характеристики объектов и наносят местные предметы и контура, не изобразившиеся при аэрофотосъемке. Нанесение этих объектов выполняют обычно промерами. Данные измерений фиксируют на обратной стороне аэрофотоснимков или на отдельном абрисе.

Как правило, по снимкам дешифрируют:

- все населенные пункты, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, расположенные вне населенных пунктов, а также изменения в планировке и застройке населенных пунктов;

- железные, шоссейные, улучшенные и проселочные грунтовые автомобильные дороги, насыпи и выемки на дорогах и другие изменения дорожной сети;

- плотины, каналы и другие гидротехнические сооружения, а также связанные с ними изменения на местности, появление водохранилищ, мостов и т.д.;

- изменения в начертании контуров растительности;

- изменения в рельефе местности – новые очертания обрывов, осыпей, карьеров, оврагов и промоин.

Раскрытие содержания элементов местности по их фотографическому изображению требует учета ряда дешифровочных признаков: формы и размеров изображения (геометрические признаки), свойств предметов отражать неодинаковое количество падающего на них света (оптические признаки), распределение света и тени, взаимной связи предметов. Дешифровочные признаки делятся на прямые и косвенные. К прямым признакам относятся форма, размеры, тени и др., к косвенным – взаимосвязь различных объектов местности, отобразившихся на снимках, например, связь между растительностью, влажностью и типами грунтов. Основным дешифровочным признаком является форма изображения; уточнить представление об объекте могут его размеры.

Многие объекты имеют одинаковую форму и размеры, но различны по содержанию, поэтому наибольший эффект при дешифрировании дает совместное использование нескольких признаков. Так, кроме формы и размеров изображения, широко используется тон фотографического изображения. Различные элементы местности имеют различную спектральную отражательную способность, поэтому в зависимости от типа светофильтра и сорта фотопленки изображения контуров отличаются различной степенью почернения. Так, реки и озера изображаются на снимках темными тонами;

сухие дороги получают почти белыми линиями; редкая растительность изображается темно-серым тоном, а густая более темным и т.д.

Весьма важным дешифровочным признаком являются тени, отбрасываемые объектами. По форме теней можно судить о содержании сфотографированного объекта.

При дешифрировании крупномасштабных изображений контуров построек следует учитывать возможность смещения фотоизображения крыш относительно цоколя зданий.

При камеральном дешифрировании применяют ключи-эталоны, представляющие собой аэроснимки с отдешифрованными изображениями наиболее характерных объектов для данного района работ. Процесс камерального дешифрирования значительно упрощается при использовании пространственной (стереоскопической) модели местности.

## **7. Проект фотограмметрических работ**

### **7.1. Подготовительные работы**

Подготовительные работы включают:

- сбор и изучение исходных материалов;
- составление рабочего проекта пространственной фототриангуляции;
- подготовка приборов к работе.

Исходными материалами для построения сети пространственной фототриангуляции являются:

- диапозитивы на стекле;
- паспортные данные аэрофотосъемки: значения элементов внутреннего ориентирования и расстояний между противоположными координатными метками прикладной рамки аэрофотоаппарата, масштаб аэрофотосъемки;
- материалы плано-высотной подготовки аэрофотоснимков: каталоги координат и высот опознаков, контактные отпечатки аэрофотоснимков с опознанными и наколотыми опознаками, абрисами и описанием опознаков.

От тщательности выполнения подготовительных работ в значительной мере зависит точность сгущения.

На стереофотограмметрических приборах измерения выполняют по диапозитивам.

До изготовления диапозитивов аэрофильмы следует хранить в герметически закрытых банках при постоянной влажности и температуре. Печать диапозитивов выполняется с ненарезанных аэрофильмов на пластинки форматом 180×180 мм ( $\pm 2$  мм). Желательно использовать пластинки на шлифованном стекле или пластинки для научных целей.

Контактные станки, используемые для печати диапозитивов, должны обеспечивать надлежащее выравнивание аэрофильма и хороший контакт эмульсионной поверхности аэрофильма и пластинки.

В помещении, где находится контактный станок, должна поддерживаться постоянная влажность и температура; в этом помещении не следует выполнять работы, нарушающие стабильность условий (фотографическую обработку и промывку).

Перед изготовлением диапозитивов проводится акклиматизация аэрофильмов в условиях помещения, где будет происходить печать (в течение 2 – 3 суток).

Все диапозитивы одной секции или маршрута следует печатать одновременно. Непосредственно после печати проверяют фотографическое качество диапозитивов и деформацию изображения.

Диапозитивы должны быть прозрачными. Изображение и координатные метки должны быть резкими, все детали на негативах должны сохраниться на диапозитивах.

Для выявления диапозитивов, имеющих деформацию, измеряют расстояния между изображениями координатных меток  $XX$  и  $YY$  и сравнивают их с соответствующими расстояниями на прикладной рамке аэрофотоаппарата, определяемыми при калибровке, или на одном из диапозитивов маршрута.

Измерение отрезков выполняют, как правило, на стереокомпараторах. По результатам измерений определяют коэффициент систематической деформации, которую можно учесть, введя поправку в фокусное расстояние:

$$f = f' \cdot k_{cp}, \quad (7.1)$$

где:  $k_{cp}$  – средний коэффициент систематической деформации;

$f'$  – фокусное расстояние без учета деформации.

Перед составлением проекта работ по фотограмметрическому сгущению опорной сети следует убедиться в полноте и доброкачественности материалов геодезического обоснования: проверить качество изображения маркировочных знаков, соответствие накола опознанных точек их описанию, идентичность наколов на основных и контрольных аэроснимках. При наличии ошибок опознавания или определения некоторых опорных точек их следует исключить из обработки. В проекте фотограмметрического сгущения должны быть также указаны те точки, определение или опознавание которых вызывает сомнения. Эти точки должны быть проверены при построении или последующей обработке сети.

Для фотограмметрического сгущения опорной сети используют хорошо отъюстированные приборы. Один раз в полгода выполняется профилактический осмотр, чистка, проверка отдельных узлов и их юстировка. Рабочие поверки выполняют один раз в три месяца, а также в случае выявления нарушений юстировки в процессе работы.

## 7.2. Составление проекта фотограмметрической сети

Составление проекта включает:

- 1) выбор маршрута аэроснимков, используемых для фотограмметрического сгущения опорной сети;
- 2) образование секций;
- 3) установление очередности и порядка обработки.

Выбор точек сети и накол их на контактные отпечатки выполняется при рабочем проектировании фотограмметрических сетей.

Секции составляют таким образом, чтобы начальная и конечная стереопары были обеспечены опорными точками для геодезического ориентирования секции. Очередность построения сетей устанавливается с размещением геодезических точек. В первую очередь целесообразно сгущать сети, обеспеченные излишними опорными точками.

При выборе точек фотографической сети (составление рабочего проекта) следует учитывать, что в результате построения фотограмметрической сети каждая стереопара аэроснимков основного варианта (снимков, используемых для съемки подробностей) должна быть обеспечена основными (используемыми как опорные при съемке рельефа и составлении оригинала карты) фотограмметрическими точками, расположенными примерно в углах стереопары; все основные точки должны определяться в двух вариантах построения сети по каждому маршруту.

Кроме основных точек, в фотограмметрические сети включают точки геодезического обоснования; урезы воды и некоторые характерные точки местности, высоты которых должны быть подписаны на карте, а также точки, предназначенные для контроля съемки подробностей и заключительного контроля оригинала карты.

В качестве связующих точек для передачи масштаба и соединения звеньев используют некоторые точки сети, расположенные в зоне тройного перекрытия аэроснимков. Дополнительные связующие точки выбирают в процессе построения сети с таким расчетом, чтобы передача масштаба и соединение звеньев выполнялись по шести связующим точкам.

Для связи между различными участками съемки выбирают контурные точки, которые можно надежно опознать и определить по аэроснимкам обоих участков. Ось первого маршрута совмещаем с северной границей снимаемого участка и по оси откладываем расстояние  $B_x$  в масштабе карты. Первый и последний центры аэроснимков (фотографирования) выбираем таким образом, чтобы обеспечить полноценную съемку западной и восточной границы участка соответственно. Ось второго маршрута получаем отложением от оси первого маршрута расстояния  $B_y$  в масштабе карты. На оси маршрута так-

же намечаем центры аэроснимков. Проектируем оси маршрутов и центры фотографирования до тех пор, пока не обеспечим аэрофотосъемку всего участка местности.

В качестве опознаков желательно использовать замаркированные знаки, которые изображаются точками или какими-либо другими знаками, расположенными в требуемых местах аэрофотоснимка.

Все фотограмметрические точки обозначают наколом на одном комплекте контактных отпечатков. Переколку точек на смежные маршруты тщательно контролируют.

Все точки пространственной сети выбирают и накалывают обязательно при стереоскопическом рассматривании, желательно на интерпретоскопе.

### **7.3. Построение сетей пространственной фототриангуляции**

Пространственная фототриангуляция решает задачу дополнительного сгущения геодезической опорной сети. Возможность получать достаточно большое число плановых и высотных точек камеральным путем, имея несколько геодезических точек на маршрут, в значительной мере сокращает полевые работы по определению опорных точек. Получаемые точки служат для дальнейшей фотограмметрической обработки снимков с целью построения топографического плана.

Сущность пространственной фототриангуляции состоит в построении модели местности по снимкам, принадлежащим к одному или нескольким маршрутам, и ориентировании ее относительно геодезической системы координат.

В зависимости от количества маршрутов фототриангуляцию подразделяют на маршрутную и блочную, а в зависимости от применяемых технических средств – на аналоговую и аналитическую.

При аналоговой фототриангуляции пространственные фотограмметрические сети строят на универсальных стереофотограмметрических приборах.

В аналитической фототриангуляции координаты определяемых точек вычисляют по измеренным на стереокомпараторе координатам точек снимков, используя формулы связи координат точек снимков и местности.

Существенными преимуществами аналитической фототриангуляции перед фототриангуляцией на универсальных стереоприборах являются:

- более высокая точность, обусловленная использованием прецизионного стереокомпаратора для измерения фотоснимков и строгих методов обработки результатов измерений;
- большая производительность, достигаемая благодаря применению ЭВМ, автоматизирующих все вычислительные процессы;

- универсальность – не накладываются ограничения на значения элементов ориентирования фотоснимков;
- возможность учета всех систематических погрешностей, влияние которых можно выразить в математической форме.

Основная цель пространственной фототриангуляции – максимально сократить трудоемкие полевые геодезические работы, заменив их камеральными.

Технологическая схема аналитической пространственной фототриангуляции включает три основных процесса:

- подготовительные работы;
- измерение снимков на стереокомпараторе;
- построение сети пространственной фототриангуляции на ЭВМ.

В подготовительные работы входят:

- сбор и изучение исходных материалов;
- составление рабочего проекта пространственной фототриангуляции;
- выполнение рабочих поверок и исследований стереокомпаратора.

Существует несколько способов создания аналитической фототриангуляции. Например, один из способов основан на последовательном построении частично зависимых моделей и соединении их в общую модель. Другой способ позволяет сначала построить независимые модели, а затем соединить их в общую модель. Общая модель, полученная первым или вторым способом, ориентируется по опорным точкам и используется для вычисления геодезических координат определяемых точек.

В результате построения сети получаем следующие данные на выходе: отклонения по опорным точкам, отклонения по контрольным и связующим точкам, оценку точности, координаты точек сгущения, элементы внешнего ориентирования и взаимного ориентирования снимков.

После уравнивания сети фототриангуляции выполняют контроль качества построений сети по следующим критериям:

1. Остаточные средние расхождения высот на опорных геодезических точках после внешнего ориентирования сети не должны превышать  $1/10$  высоты сечения рельефа, а расхождение плановых координат –  $0,1$  мм в масштабе карты.

2. Средние расхождения между окончательными высотами контрольных точек и их геодезическими отметками не должны быть более  $1/5$  высоты сечения рельефа, а расхождения в плане –  $0,25$  мм в масштабе карты.

После внешнего ориентирования группы маршрутных сетей в границах, предусмотренных проектом, следует оценить качество сгущения по величинам и знакам расхождений полученных значений координат на общих точках смежных маршрутов, по расхождениям фотограмметрических

и геодезических координат на опорных точках и на пунктах геодезической сети, не использованных при внешнем ориентировании.

Средние расхождения высот на общих точках смежных маршрутов не должны превышать  $0,5h$  при съемках с высотами сечения 2 и 2,5 м, а также при съемке в масштабе 1:5000 с сечением рельефа 0,5 м.

Средние расхождения в плановом положении точек, полученных из смежных маршрутов, не должны быть больше 0,6 мм в масштабе плана.

Если расхождения высот или плановые координаты точек данной маршрутной сети и обеих смежных сетей имеют систематический характер и превышают допустимые, то деформированную сеть строят повторно. При съемках с высотами сечения рельефа 2,5 м и больше можно исправить высоты точек деформационной сети при совместной увязке результатов триангулирования в группе сетей, если характер деформации выявлен надежно, а расхождения высот не превышают высоту сечения рельефа.

Остаточные средние расхождения высот на опорных геодезических точках после внешнего ориентирования сети не должны превышать  $0,1h$  сечения, а расхождения в плане – 0,1 мм.

Для контрольных точек, полученных из одного маршрута, средние расхождения фотограмметрических и геодезических высот не должны превышать  $0,35 h$  при съемках с сечением рельефа через 2 и 2,5 м, а также при съемке в масштабе 1:5000 с сечением рельефа 0,5 м.

В залесенных районах допуски увеличиваются в 1,5 раза.

Средние расхождения в плановом положении контрольных точек, полученных из одного маршрута, не должны превышать 0,4 мм на создаваемом плане.

#### **7.4. Создание планов**

Составление оригинала топографической карты на универсальных приборах производится путем обработки отдельных стереопар аэрофотоснимков, которые покрывают данную трапецию. Обработка отдельной стереопары включает:

- подготовительные работы;
- взаимное ориентирование пары аэрофотоснимков – построение фотограмметрической модели местности;
- внешнее ориентирование модели – ориентирование модели местности в координатной системе прибора, принимаемой за геодезическую;
- стереоскопическую съемку рельефа и контуров.

Подготовительные работы включают получение исходных материалов, выполнение необходимых расчетов и подготовку прибора к работе.

Исходными данными являются:

- диапозитивы аэрофотоснимков на стекле;
- значение фокусного расстояния аэрофотокамеры  $f$ , величина среднего масштаба аэрофотоснимков  $1:m$  или высоты фотографирования  $H$  над средней плоскостью участка местности;
- контактные отпечатки аэрофотоснимков с наколами и номерами плановых и высотных точек геодезического обоснования и фотограмметрического сгущения опорной сети;
- каталоги координат опорных точек;
- основа с нанесенными в масштабе  $1:M$  создаваемой карты плановыми опорными точками или фотоплан.

Основа может быть на пластике или бумаге, наклеенной на алюминий.

Расчеты установочных величин включают вычисления горизонтального и вертикального масштабов модели, установочного значения проекции базиса проектирования на ось  $X$  прибора и фокусного расстояния прибора, а также определение пар шестерен и шкалы для установки на счетчике высот.

Диапозитивы закладывают в съемные кассеты эмульсией вверх, перекрывающимися частями внутрь и центрируют координатными метками по штрихам на подкладных стеклах. Сцентрировав снимки и надежно закрепив их в снимкодержателях, последние устанавливают в проектирующие камеры. На шкалах линейных и угловых движений прибора устанавливают места нулей, которые выявляются в процессе поверок прибора. На счетчике высот ставят пару шестерен и шкалу. Заканчивают подготовку прибора к работе установкой на штурвалах  $X$  и  $Y$  больших скоростей перемещения кареток.

Взаимное ориентирование заключается в устранении поперечных параллаксов на 6-ти стандартно расположенных точках. Устранение поперечных параллаксов осуществляется последовательными приближениями. После первого круга ориентирования на контрольной точке может еще быть значительный поперечный параллакс из-за нестандартного расположения точек. После 2-го круга взаимного ориентирования этого быть не должно.

После взаимного ориентирования приступают к геодезическому, состоящему в масштабировании и горизонтировании (повороте) модели. Процесс масштабирования выполняется по опорным точкам на планшете заданного масштаба с предварительным подбором по специальным таблицам шестерен. При горизонтировании дополнительно подбирают и шкалы счетчика высот.

После выполнения внешнего ориентирования модели на универсальных приборах приступают к съемке рельефа.



Начинать съемку желательно с рисовки гидрографической сети местности, потому что она дает скелетную схему местности, по которой удобно уложить горизонтали.

Рисовку горизонталей начинают с наименьшей высоты.

При наличии крутых склонов сначала проводят десятиметровые горизонтали, а уже затем промежуточные.

При рисовке горизонталей на участках, покрытых лесом, отсчет, установленный на счетчике высот и соответствующий высоте горизонтали, следует увеличить на среднюю высоту леса.

Проведя максимальную горизонталь, измеряют высоты всех вершин и урезов вод, отмечают их положение точкой и подписывают рядом высоту. Урезы вод измеряют не реже чем через 10 см в масштабе карты.

В процессе стереорисовки ориентирование проверяется, при этом расхождения высот не должны превышать точности стереообработки, т.е. величины

$$\frac{1}{3000}H.$$

Затем рисуют контуры. В первую очередь наносят основные контуры: дороги, границы кварталов, ручьи, берега рек и лишь затем мелкие контуры. Генерализацию контуров выполняют в соответствии с требованиями руководств и инструкций для карт и планов соответствующего масштаба. Допустимое расхождение контуров в масштабе плана – 0,8 мм.

После того как снимки сняты с прибора, вычерчивают в туши горизонтали.

По границам смежных снимков горизонтали должны быть сведены. Для этого зону перекрытия смежных снимков рассматривают в интерпретоскоп Цейса. При сводках не допускается излома и неестественного изгиба горизонталей.

В случае если запроектировано создание карты на фотоплане, который создается из трансформированных снимков, он служит плановой основой для масштабирования построенной модели, и нет необходимости в рисовке контуров.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ СТУДЕНТАМИ ДНЕВНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

### Лабораторная работа «Оценка фотограмметрического качества залета по накидному монтажу»

Для выполнения работы студентам выдаются аэрофотоснимки на маршрут. По этим аэрофотоснимкам моделируется накидной монтаж и выполняется оценка качества аэрофотосъемки по методике, описанной в конспекте лекций (часть 1, раздел «Аэрофотосъемка»).

### Лабораторная работа «Определение масштаба аэроснимка и высоты фотографирования»

Между масштабом планового аэрофотоснимка  $1:m$  и параметрами аэрофотосъемки: фокусным расстоянием АФА и высотой фотографирования  $H$ , существует следующая зависимость:

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

В случае если параметры аэрофотосъемки неизвестны, то масштаб аэрофотоснимка  $1:m$  определяют по соотношению отрезков на снимке и на местности.

$$\frac{1}{m} = \frac{\ell_{сн}}{L}. \quad (2)$$

В фотограмметрии пользуются основами с нанесенными на них плановыми точками. Для их изготовления в поле определяют геодезическими методами положения опознаков. Опознак – это точка местности, опознанная на снимке, на местности и имеющая координаты.

Студентам раздают аэрофотоснимки. Используя материалы полевой подготовки аэроснимков с имеющимися на них плановыми опознаками, положение которых нанесено также на основу, можно определить масштаб аэрофотоснимка по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{\ell_{сн}}{\ell_{осн}M}, \quad (3)$$

где  $\ell_{сн}$  – расстояние на снимке,  $\ell_{осн}$  – расстояние на основе,  $1:M$  – масштаб основы.

Необходимо выбрать четыре опорные точки, как показано на рисунке. Перенести эти точки на свои снимки. Расстояние между этими же точками измерить на основе и по формуле (3) рассчитать масштаб аэрофотоснимка. Затем по формуле (1) вычислить неизвестный параметр.

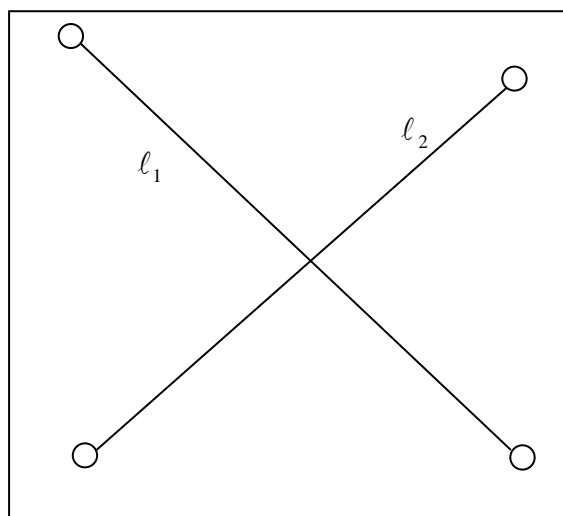


Рис. 1

### **Лабораторная работа «Монтаж фотосхемы»**

По выданным студентам аэроснимкам необходимо смонтировать фотосхему по контурам и выполнить оценку ее качества. Методика монтажа фотосхемы изложена в конспекте лекций (часть 1, раздел «Фотосхемы и фотопланы»).

### **Лабораторная работа «Устройство и трансформирование снимков на универсальном топографическом проекторе УТП-2»**

Трансформирование снимков является одним из важнейших процессов общей технологии создания топографических карт комбинированным и стереотопографическим методами. Из трансформированных снимков составляются фотопланы, служащие основой при создании карт.

Работа состоит из следующих разделов:

- задача трансформирования;
- устройство и технические данные универсального топографического проектора УТП-2;
- трансформирование снимков на УТП-2.

#### *Задача трансформирования*

Существуют различные способы создания топографических карт, в том числе комбинированный и стереотопографический.

Сущность комбинированного метода состоит в том, что контуры на карте получают в камеральных условиях путем монтажа трансформированных снимков, а рельеф изображается в поле приемами мензульной съемки.

Стереотопографический метод в отличие от комбинированного позволяет получить в камеральных условиях не только контурную часть карты, но и изображение рельефа. Составление карты этим методом выполняют на универсальных стереоприборах. Если на местности большое количество контуров, то в качестве основы для составления карты используют не чистый планшет, а фотоплан, составленный из трансформированных снимков. Наличие фотоплана освобождает оператора от трудоемкой работы по съемке контурной части карты.

Итак, трансформирование снимков является одним из основных процессов в общем комплексе работ по созданию карты.

Если бы в результате аэросъемки получали горизонтальные снимки, то ими можно было бы пользоваться как планом, но вследствие колебаний по высоте и кренов самолета аэроснимки получаются разномасштабные и не горизонтальные, а наклонные. Это приводит к тому, что на снимке изображения искажаются.

Процесс преобразования изображений наклонных снимков в изображения горизонтальных снимков заданного масштаба называется трансформированием.

Но на трансформированном изображении остаются искажения, вызванные рельефом местности, так как участки местности с различными отметками изображаются в разных масштабах. Чтобы уменьшить эти искажения, аэрофотосъемка выполняется аэрофотоаппаратами с фокусными расстояниями 200 мм и более. Однако при создании фотоплана всхолмленной и горной местности искажения из-за рельефа все же могут превысить допустимую величину, даже если аэрофотосъемка производилась аэрофотоаппаратами с большими фокусными расстояниями. В этом случае трансформирование выполняют по зонам. В каждую зону включают участки местности с отметками, не вызывающими искажения масштаба изображения. Это позволяет уменьшить искажения, вызванные рельефом местности.

В данных методических указаниях рассмотрен фотомеханический способ трансформирования одной зоны. В этом случае трансформирование производят на фототрансформаторах, фотограмметрических приборах, в которых изображения с аэросъемочного негатива при помощи осветителя и объектива проектируются на экран. Трансформирование можно вести либо по установочным величинам, либо по трансформационным точкам.

Установочные величины можно получить по показаниям вспомогательных приборов, обслуживающих аэросъемку, однако эти приборы пока не обеспечивают требуемую точность окончательных результатов, а в большинстве случаев углы наклона снимков в процессе аэросъемки не фиксируют. Поэтому большее распространение получил способ трансформирования по трансформационным точкам.

Трансформационная точка – это такая точка, плановое положение которой определено или из результатов полевых наблюдений, или камерально при построении сетей фототриангуляции. На аэроснимке необходимо иметь минимум четыре таких точки, расположенные по углам его рабочей площади, образованной линиями, проведенными по середине продольного и поперечного перекрытий, и пятую – в центре.

При трансформировании в кассету прибора закладывают аэронегатив (снимок) с наколами трансформационных точек, а на экран кладут основу, на которую нанесено плановое положение этих же точек. Посредством поступательных движений объектива и кассеты, вращения кассеты, объектива и экрана вокруг своих горизонтальных осей и перемещений основы на экране добиваются совмещения оптического изображения трансформационных точек негатива (снимка) с их положением на основе.

По конструкции различают фототрансформаторы первого и второго рода.

В фототрансформаторах первого рода непременным условием является равенство фокусного расстояния прибора  $f_{np}$  фокусному расстоянию камеры аэрофотоаппарата  $f$ . В этом случае строится связка лучей, подобная существовавшей в момент фотографирования. Фототрансформаторы первого рода должны быть обеспечены набором объективов с различными фокусными расстояниями, что является существенным недостатком. Поэтому сейчас такие фототрансформаторы не применяются.

В фототрансформаторах второго рода фокусное расстояние проектирующих камер  $f_{np}$  не равно фокусному расстоянию аэрофотоаппарата  $f$ , поэтому связка проектирующих лучей в них не подобна существовавшей при фотографировании.

Для получения геометрически правильного трансформированного изображения в заданном масштабе необходимо выполнять геометрические условия трансформирования. Выполнение геометрических условий предусмотрено конструкцией фототрансформатора.

Для получения резкого изображения на экране необходимо выполнить оптические условия. В фототрансформаторах для автоматического соблюдения оптических условий трансформирования имеются особые механизмы, называемые инверсорами. Применяются два типа инверсоров – масштабный для обеспечения первого условия, то есть для оптического сопряжения точек на аэроснимке и экране в плоскостях, перпендикулярных к главной оптической оси объектива прибора, и перспективный – для выполнения второго оптического условия, при котором плоскость аэроснимка и плоскость экрана должны проходить через две сопряженные точки и пересекаться по линии, лежащей в главной плоскости объектива.

В некоторых трансформаторах имеется инверсор для автоматического введения децентрации.

В соответствии с программой трансформирования снимков студенты выполняют на универсальном топографическом проекторе УТП-2, описание устройства которого приведено ниже.

### *Устройство и технические данные универсального топографического проектора УТП-2*

Универсальный топографический проектор УТП-2 (рис. 1) предназначен для выполнения следующих работ:

– перенесение подробностей с аэроснимков и картографических материалов на оригинал составляемой или обновляемой карты;

– редуцирование на оригинал составляемой или обновляемой карты;

– трансформирование снимков;

– перенесение горизонталей с топографических карт на фотопланы;

– производство сводок по рамкам трапеций;

– составление специальных планов и карт.

На проекторе УТП-2 можно обрабатывать аэроснимки, полученные аэрофотоаппаратами с любыми фокусными расстояниями,

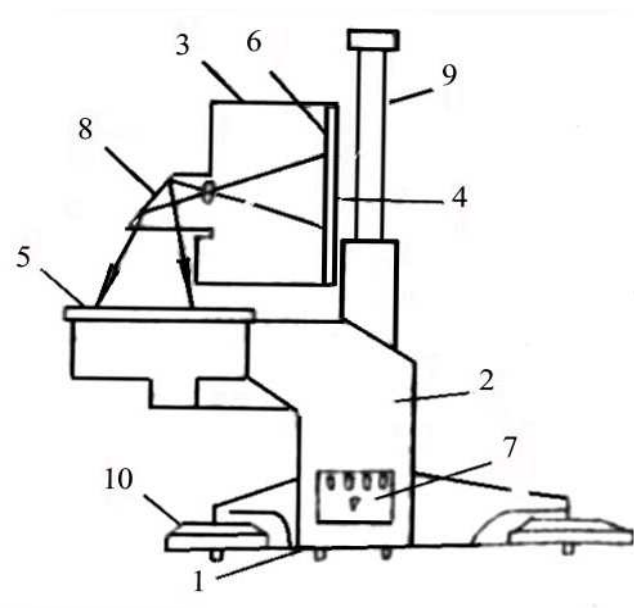


Рис. 1

то есть это фототрансформатор второго рода, работающий на просвет и на отражение. На УТП-2 можно трансформировать плановые снимки форматом 18×18; 24×24; 30×30 см.

Принцип действия основан на использовании ломаного хода проектирующих лучей при двух рабочих положениях прибора:

– с вертикальным расположением направляющих – для работы на увеличение;

– с горизонтальным расположением направляющих – для работы на уменьшение.

При трансформировании аэроснимки, как правило, имеют более мелкий масштаб, чем масштаб создаваемой карты, поэтому мы будем рассматривать работу прибора при вертикальном расположении направляющих.

### *Технические данные прибора*

Рабочий размер экрана 620×550 мм; диапазон изменения масштаба проектирования 1:0,25÷1:4; объектив «Индуста-51», фокусное расстояние 210 мм; относительное отверстие 1:4,5; угол поля зрения 56°, разрешающая способность, лин/мм – в центре поля 21, на краю 8; предельные углы наклона объектива и наклоняемого экрана 10°; габаритные размеры прибора при вертикальном положении направляющих (максимальное увеличение) 1630×730×2060 мм; масса 230 кг.

Подставка 1 устанавливается на шести винтовых лапках. В ее основании смонтирован механизм ножного привода, состоящий из ножного штурвала 10 с коробкой передач. При вращении ножного штурвала происходит изменение масштаба проектирования. Правый ножной штурвал используется для работы при горизонтальном, левый – при вертикальном расположении направляющих 9. По направляющим перемещается на шарикоподшипниковых муфтах каретка, несущая объективную коробку 8. Станина 2 предназначена для крепления узлов и механизмов прибора.

Коробка 8 служит для размещения плоского зеркала наружного серебрения, объектива «Индустар-51» с фокусным расстоянием  $F_{np} = 210$  мм, механизма наклонов объектива. Рядом с механизмом наклонов объектива находится ручка установки диафрагмы.

Съемный осветитель 3 предназначен для освещения оригинала при работе методом отражения. Внутри корпуса осветителя установлены 14 люминесцентных ламп.

Наклоняемый экран 5 используется как стол для основы или фотоматериала. Наклоны экрана в продольном и поперечном направлениях осуществляются вращением ручек, снабженных для удобства работы шарнирами и телескопическими валиками. Величины наклонов отсчитываются по шкалам.

Подвижный экран 4 служит для размещения проектируемого материала. При изменении масштаба проектирования подвижный экран перемещается вдоль направляющих 9, одновременно в направлении к объективу или от него для сохранения резкости изображения.

Проектируемый материал крепится в кассете 6 с помощью сменных рамок для форматов 18×18, 22×22 и 28×28 см. Кассета представляет собой коробчатое основание с двумя рамками, которые для введения децентраций могут передвигаться с помощью винтов на величину  $\pm 30$  мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Перемещения рамок отсчитываются по шкалам.

Пульт управления 7 предназначен для подачи напряжения от сети, включения и переключения осветителей, отдельного включения ламп в осветителях.

Для уменьшения габаритов прибора принцип действия основан на использовании ломаного хода проектирующих лучей (рис. 2).

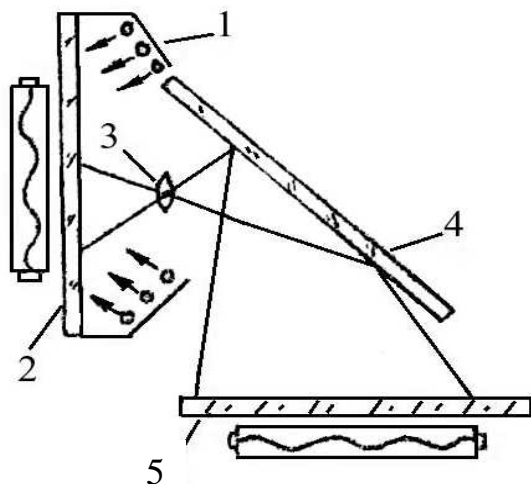


Рис. 2

При проектировании методом отражения поток световых лучей от съемного осветителя 1 падает на подвижный экран 2 (плоскость изображения) с расположенным на нем аэронегативом. Отражаясь от аэронегатива, проектирующие лучи пройдут через объектив 3 и попадут на плоское зеркало 4, установленное под углом  $45^\circ$  к плоскости подвижного экрана 2, и изображение проектируется на наклоняемый экран 5.

При работе методом просвета проектирующие лучи пройдут так же, как и при методе отражения, но осветитель в этом случае располагается за экраном с аэронегативом.

Кинематическая схема проектора обеспечивает выполнение необходимых установочных и рабочих движений для изменения масштаба проектирования, наклонов объектива и наклоняемого экрана, наводки на резкость изображения.

Изменение масштаба проектирования достигается вращением ножного штурвала 10 (см. рис. 1). Резкость изображения при изменении масштаба проектирования сохраняется автоматически при помощи лекального масштабного инверсора.

Резкость изображения при наклоне экрана, то есть выполнение второго оптического условия, в УТП-2 достигается вручную. Отсутствие перспективного инверсора ведет к снижению производительности труда и вызывает неудобства при работе на приборе по сравнению с фототрансформаторами.

#### *Масштабный лекальный инверсор УТП-2*

Масштабные инверсоры осуществляют линейное перемещение плоскостей аэронегатива и объектива относительно экрана для автоматического сохранения резкости изображения при изменении его масштаба, т.е. они служат для выполнения первого оптического условия. Механизмы, при помощи которых это условие выполняется, в фототрансформаторах различных систем неодинаковы. В универсальном топографическом проекторе установлен масштабный лекальный инверсор (рис. 3).



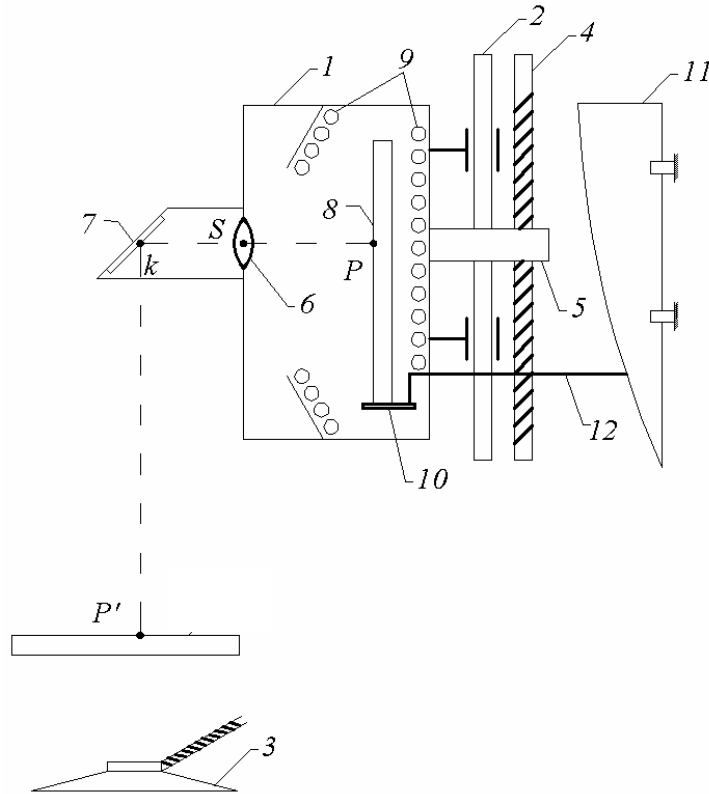


Рис. 3

В основе устройства лекального инверсора лежат законы движения объектива и негатива вдоль конструктивной оси при условии сохранения оптического сопряжения точек  $P$  и  $P'$  (рис. 3).

Принцип действия состоит в следующем. Проектирующая камера 1 перемещается по направляющим 2 при помощи ножного штурвала 3. Движение от ножного штурвала через коробку передач, телескопический вал и редуктор передается ходовому винту 4, по которому ходит гайка 5. Гайка перемещает проектирующую камеру 1 по направляющим 2.

В проектирующей камере находятся объектив 6, плоское зеркало 7, вертикальная кассета 8 и люминесцентные лампы 9.

Кассета 8 перемещается вдоль горизонтальной направляющей 10 при помощи масштабного лекального инверсора. Лекало 11 неподвижно укреплено на станине. К лекалу прижимается ролик стержня 12, скрепленного с кассетой 8.

При перемещении проектирующей камеры 1 ролик катится по лекалу 11 и заставляет кассету двигаться вдоль направляющей 10. Это движение согласовано с движением проектирующей камеры так, что расстояния по оптической оси  $d_1 = SP$  и  $d_2 = Sk + kP'$  всегда удовлетворяют основному уравнению оптики

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f_{np}}.$$

Таким образом, при изменении положения объектива кассета устанавливается с помощью инверсора в нужное положение.

### *Трансформирование снимков на УТП-2*

Самым распространенным способом трансформирования аэроснимков на производстве является трансформирование по опорным трансформированным точкам. Таких точек, как отмечалось, должно быть не менее пяти. Четыре точки располагаются по углам рабочей площади аэроснимка. В качестве пятой желательно иметь точку надира снимка, однако для плановых снимков с небольшими колебаниями высот точек местности вместо точки надира можно использовать центральную. Центральная – это контурная точка, расположенная в окружности радиуса  $r = 0,2 \cdot f$ , описанной около главной точки снимка. Эти точки должны быть наколоты на аэронегативе и нанесены на основу.

Процесс трансформирования аэроснимков начинают с подготовительных работ: изготовления плановой основы, определения поправок за рельеф в положение трансформационных точек; определения толщины картонной подложки.

Плановую основу студенты получают в результате построения сети графической фототриангуляции и редуцирования построенной сети по опорным точкам. В результате выполнения этих работ на листе чертежной бумаги получают плановое положение трансформационных и центральных точек в заданном масштабе.

Трансформационные и центральные точки оформляются тушью в виде кружков диаметром 3 – 4 мм. На аэронегативе все контурные точки, соответствующие трансформационным и центральным, отмечаются посредством прокалывания иглой.

Если на аэроснимках изображена равнинная местность, то смещения точек, обусловленные рельефом, невелики. Значения поправок за рельеф в этом случае не превышает установленных допусков. Такие снимки трансформируют без введения в опорные точки поправок за рельеф. В противном случае в положение трансформационных точек вводят линейные поправки за рельеф, чтобы привести положение нанесенных на основе точек в ортогональной проекции к их положению в центральной проекции. Трансформирование таких снимков выполняется по зонам. Если поправки за рельеф вводят в положение точки на плановую основу, то их вычисляют по формуле

$$\delta_h = \frac{rh}{H},$$

где  $r$  – расстояние на основе от центральной точки до трансформационной;

$h$  – превышение трансформационной точки над средней плоскостью трансформирования (отметки трансформационных точек студенты определяют по аэроснимку с зарисованными горизонталями);

$H$  – высота фотографирования над средней плоскостью трансформирования.

Эти поправки должны откладываться по направлению к точке надирра, но так как обычно положение точки надирра неизвестно, то поправки за рельеф откладывают по направлению к центральной точке.

Если  $\delta_h < 0$ , то расчетные поправки за рельеф откладывают от положения контурных точек по направлению к центральной точке и в противоположную сторону – при  $\delta_h > 0$ . Поправки за рельеф меньше 0,3 мм не учитывают.

Трансформированные снимки получают обычно на фотобумаге. В результате фотографической обработки (проявления и сушки) размеры фотобумаги уменьшаются. Поэтому при трансформировании необходимо учесть деформацию фотобумаги. Для этого после совмещения оптических изображений точек аэронегатива с трансформационными точками основы следует увеличить масштаб изображения на экране настолько, чтобы после деформации фотобумаги получить трансформированный аэроснимок в заданном масштабе.

Так как в универсальном топографическом проекторе УТП-2 отсутствует шкала, по которой можно было бы отсчитать величину перемещения объектива по высоте, то для увеличения масштаба изображения перед совмещением точек под основу необходимо подложить картонную подложку определенной толщины. Толщину подложки рассчитывают по формуле

$$d = f_{np} (1 + k_t)(1 - k_q),$$

где  $f_{np}$  – фокусное расстояние объектива фототрансформатора;

$k_t = \frac{m}{M}$  – коэффициент трансформирования, равный отношению знаменателя масштаба снимка  $m$  к знаменателю масштаба создаваемой карты  $M$ ;

$k_q = \frac{\ell}{\ell_0}$  – коэффициент систематической деформации фотобумаги;

$\ell, \ell_0$  – соответственно отрезки на фотобумаге после и до деформации.

Для определения коэффициента систематической деформации изготавливают несколько контактных отпечатков с контрольной сетки, которые подвергают фотолабораторной обработке. После выполнения перечисленных выше процессов приступают к совмещению точек.

Перед началом трансформирования необходимо включить прибор в сеть. На пульте управления УТП-2 установить необходимый режим работы и включить лампы в осветителе. Негатив или снимок заложить в кассету прибора и отцентрировать его по координатным меткам. Кассету навесить на подвижный экран и прижать прижимной рамой съемного осветителя.

Экран привести приблизительно в горизонтальное положение и положить на него картонную подложку, а сверху – основу с опорными точками. На шкале децентраций установить отсчеты, равные нулю-пунктам этих шкал.

Техника совмещения опорных точек на планшете с соответствующими трансформационными точками снимка зависит от конструкции фототрансформатора. В случае когда и экран поворачивается вокруг двух осей, как в УТП-2, то совмещение точек выполняется в такой последовательности:

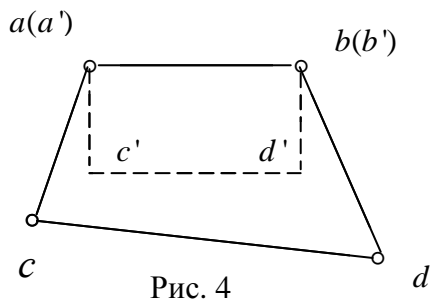


Рис. 4

1. Изменяя масштаб изображения ножным штурвалом и перемещая основу по горизонтальному экрану, добиться совмещения оптических изображений  $a'$  и  $b'$  точек аэро-негатива (снимка) с соответственными точками  $a$  и  $b$  основы (рис. 4). При последующих действиях необходимо следить, чтобы эти точки всегда были совмещены.

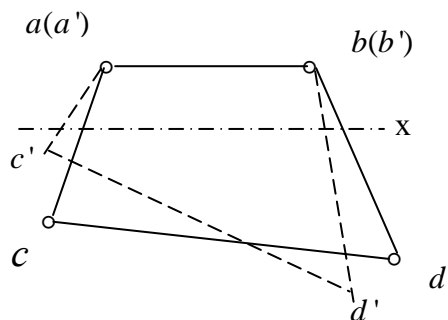


Рис. 5

2. Поворачивая экран вокруг горизонтальной оси  $x$ , добиться того, чтобы длина отрезка  $c'd'$  изображения была примерно равна отрезку  $cd$  основы (рис. 5).

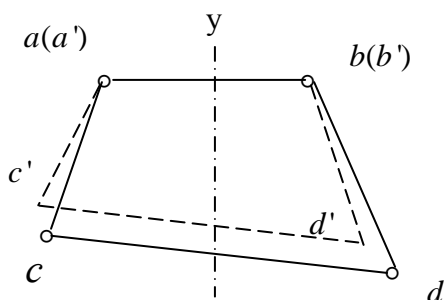


Рис. 6

3. Поворачивая экран вокруг оси  $y$ , добиться примерной параллельности этих отрезков (рис. 6). Если эти действия не приводят к достаточно точному совмещению точек, то вводят продольную и поперечную децентрации снимка. Эти движения необходимы для сохранения геометрических условий трансформирования.

Используя децентрацию кассеты по направлению оси  $y$  и изменяя углы наклона экрана, добиться того, чтобы несовмещения  $cc'$  и  $dd'$  были параллельны горизонтальной оси  $x$  прибора (рис. 7).

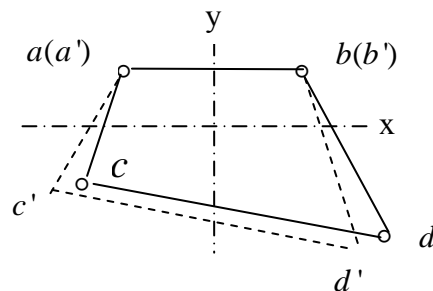


Рис. 7

4. Используя децентрацию кассеты по направлению оси  $x$  и внося небольшие изменения в предшествующие установки, совместить оптические изображения всех четырех точек аэронегатива с соответствующими точками основы (рис. 8).

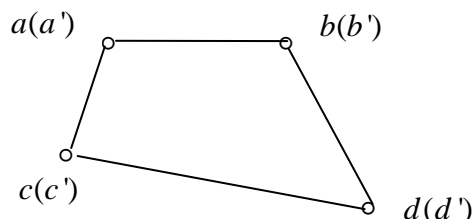


Рис. 8

Величины продольной и поперечной децентрации снимков можно также вычислить для УТП-2 по формуле

$$\Delta = \frac{f_{np}}{2 \left(1 + \frac{1}{K_t}\right)} \cdot \frac{\varphi}{\rho} \left[ \left(\frac{f}{f_{np}}\right)^2 - \left(1 + \frac{1}{K_t}\right)^2 \right],$$

где  $\Delta$  – линейная децентрация;

$f_{np}$  – фокусное расстояние объектива УТП-2;

$K_t$  – коэффициент трансформирования;

$\varphi$  – угол наклона экрана (отсчитывается по соответствующим шкалам прибора в минутах);

$\rho = 3438'$ ;

$f$  – фокусное расстояние камеры аэрофотоаппарата.

Вычисленную децентрацию устанавливают на шкалах децентраций, смещая кассету. Совмещение четырех точек не гарантирует правильность трансформирования, если децентрация вводится самим исполнителем. Чрезмерное использование децентраций и наклонов зачастую позволяет совместить точки при наличии ошибок в их положении на основе или неточного прокола контурных точек на негативе. Правильность трансформирования проверяется по пятой центральной точке.

После совмещения точек вращением ручек наклона объектива устраняют нарушения резкости на краях изображения.

Трансформирование считают законченным, если несовмещение изображений точек снимка с соответствующими точками основы не превышает 0,5 мм.

Затем закрывают объектив красным или желтым светофильтром, с экрана убирают «подложку» с основой, на экран кладут фотобумагу и накрывают ее покровным стеклом. После этого фотографическую бумагу экспонируют. Выдержка определяется экспериментально, путем предварительного экспонирования.

Сфотографированное изображение будет несколько более крупного масштаба, но после фотолабораторной обработки и сушки фотобумаги масштаб трансформированного аэроснимка уменьшится и будет равен масштабу основы.

Из трансформированных аэроснимков монтируют фотопланы, представляющие собой контурную часть топографических карт.

### **Лабораторная работа «Устройство, ориентировка снимков и рисовка рельефа на стереометре»**

В работу входят следующие разделы:

- описание дифференцированного способа создания топографических карт;
- назначение топографического стереометра;
- описание и теория стереометра;
- обработка аэроснимков на стереометре.

#### *Дифференцированный способ создания топографических карт*

Универсальные стереофотограмметрические приборы позволяют получить готовый рабочий оригинал карты непосредственным применением только одного из них. В дифференцированном же способе предусматривается наличие ряда различных приборов, каждый из которых предназначен, в отличие от универсального способа, для выполнения только одного какого-то этапа процесса.

Изготовление оригинала карты дифференцированным способом осуществляется в несколько этапов в такой последовательности:

I этап – фототрансформирование аэроснимков, при котором аэроснимок приводится к заданному масштабу и исключается влияние углов наклона на положение сфотографированных точек. Указанный процесс осуществляется на фототрансформаторах.

II этап – получение контурного фотоплана местности в результате монтажа трансформированных аэроснимков.

III этап – определение взаимных углов наклона аэроснимков на основе измерения поперечных параллаксов на стереокомпараторе.

IV этап – рисовка рельефа по нетрансформированным аэроснимкам. Этот этап решается путем использования топографических стереометров конструкции Ф. В. Дробышева.

V этап – перенос зарисованного рельефа на контурный план, вычерчивание и оформление плана для дальнейшего размножения. Процесс пе-

реноса рельефа и контуров с зарисованного снимка на графический план осуществляется на одиночных проекторах, а рельеф с зарисованного снимка переносится на фотоплан при помощи специальных стереоскопов.

Основным преимуществом дифференциального способа является возможность применения более простых по конструкции приборов, предназначенных для выполнения только одного этапа обработки.

#### *Назначение топографического стереометра*

Величина продольных параллаксов  $p$  на нетрансформированных аэроснимках зависит не только от рельефа сфотографированной местности, но и от значения элементов внешнего и взаимного ориентирования снимков. Следовательно, если по измеренным разностям продольных параллаксов на нетрансформированных снимках вычислить превышения сфотографированных точек местности, не учитывая влияние элементов ориентирования, то полученные превышения не будут соответствовать истинным, вычисленным по формуле

$$h_i = \frac{H_0 \Delta P_i}{b + \Delta P_i}, \quad (1)$$

где  $h_i$  – превышение определяемой точки относительно исходной;

$H_0$  – высота фотографирования над исходной точкой;

$b$  – базис фотографирования в масштабе исходной точки;

$\Delta P_i$  – разность продольных параллаксов определяемой и исходной точек при идеальном случае съемки.

Зависимость между истинными и измеренными разностями продольных параллаксов на плановых снимках выражается формулой

$$\Delta P_i = \Delta P_i' + \delta P, \quad (2)$$

где  $\Delta P_i'$  – разность продольных параллаксов определяемой и исходной точек, измеренная по плановым аэроснимкам;

$\delta P$  – поправка к разности измеренных продольных параллаксов, обусловленная углами снимков и базиса;

$\Delta P_i$  – исправленная разность продольных параллаксов, т.е. приведенная к горизонтальному случаю съемки.

Поправка в измеренную разность продольных параллаксов за влияние углов наклона аэроснимков и разность высот фотографирования для случая плановой аэросъемки определяется выражением

$$\delta P = -x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f} \alpha_n \right) - \frac{x_n^2}{f} \Delta \alpha - \frac{x_n y_n}{f} \Delta \omega - y_n \left( \Delta \chi - \frac{P_1}{f} \omega_n \right) + \frac{x_n}{f} 2\Delta P \alpha_n + \frac{y_n}{f} \Delta P \omega_n + \frac{2P_1}{f} \Delta P \alpha_n, \quad (3)$$

$\alpha_n, \omega_n$  – продольный и поперечный углы наклона левого аэроснимка;

$\Delta \alpha, \Delta \omega$  – взаимный продольный и поперечный углы наклона;

$\Delta \chi$  – поворот в своей плоскости правого аэроснимка относительно левого;

$P_1$  – продольный параллакс главной точки правого снимка

$$P_1 = x_{lo} - x_{no} = \frac{Bf}{H_0}.$$

Как следует из выражения (3), поправка в разность продольных параллаксов зависит от элементов ориентирования и положения точки на правом аэроснимке.

Для автоматического введения поправок в разность продольных параллаксов за влияние элементов ориентирования снимков используют специальный прибор конструкции Ф. В. Дробышева, названный топографическим стереометром. Этот прибор позволяет производить рисовку рельефа на аэроснимках и снабжен специальными коррекционными приспособлениями, позволяющими учитывать влияние элементов ориентирования снимков.

Существует две конструкции топографического стереометра: СТД-1 и СТД-2.

*Топографический стереометр СТД-1* применяется при рисовке рельефа по снимкам равнинных и холмистых районов. Этот стереометр снабжен четырьмя корректорами, которые учитывают влияние первых четырех членов выражения (3). При незначительном рельефе остальными членами уравнения (3) пренебрегают.

Топографический стереометр СТД-2 усовершенствован профессором М.Д. Коншиным, который предложил два дополнительных корректора, учитывающих влияние пятого и шестого членов выражения (3), что позволило повысить точность обработки аэроснимков. Последний член формулы (3) вычисляют. На этом стереометре можно рисовать рельеф как равнинных, так и горных районов.

#### *Описание и теория стереометра*

Основными частями топографического стереометра СТД-2 (рис. 1) являются: станина прибора 1, общая каретка 2, левая и правая каретка с кассетами 3, параллактический винт 4, наблюдательная система, нити 5 и шесть корректоров  $\Delta d, \beta, \rho_0, \chi_H, \gamma_1, \gamma_2$ .

На неподвижной станине 1 топографического стереометра укреплены направляющие, по которым от вращения кремальерного винта 6 перемещается общая каретка 2 в направлении оси  $X$  прибора. Величину перемещения общей каретки можно отсчитать по шкале, прикрепленной к основанию прибора.

На основной каретке монтируются две каретки снимков 3 – левая и правая. При работе на приборе аэроснимки стереопары закладывают в кассеты и зажимают пружинами. Для правильного ориентирования аэроснимков относительно оси  $X$  прибора обе кассеты могут вращаться в своих плоскостях. Оси вращения кассет укреплены на каретках, а их центры отмечены пересечением двух штрихов.

Каретки снимков могут перемещаться независимо относительно основной каретки также в направлении оси  $X$  прибора.



Левая каретка перемещается относительно общей каретки при помощи параллактического винта 4. Это движение используется при измерении продольных параллаксов.

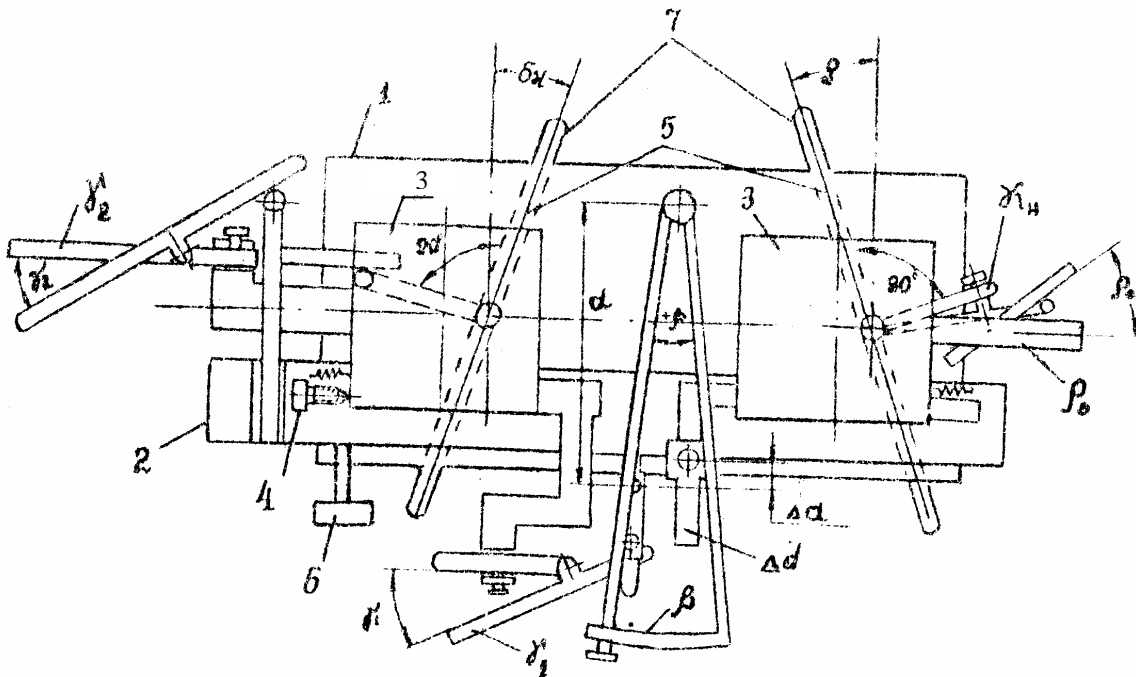


Рис. 1

Правая каретка перемещается вдоль оси  $X$  прибора под воздействием корректоров: масштабного корректора  $\Delta d$ , конвергентного устройства  $\beta$  и дополнительного масштабного устройства  $\gamma_1$ .

Продольные параллаксы измеряются при помощи марок в виде нитей, натянутых между нитедержателями 7. В процессе работы, для введения соответствующих поправок, нитедержатели с нитями поворачиваются корректором взаимного поперечного угла  $\rho_0$  и корректором поперечного угла  $\chi_H$ , а левая нить – корректором дополнительного поворота  $\gamma_2$ . Различные точки стереопары наблюдаются при помощи наблюдательной системы, представляющей собой четырехзеркальный стереоскоп. Этот стереоскоп можно перемещать вдоль оси  $Y$  прибора при помощи кремальерного винта.

Левая линза стереоскопа может смещаться вдоль оси  $Y$  прибора при помощи винта для устранения видимых поперечных параллаксов.

Установка глазного базиса наблюдателя осуществляется изменением расстояния между малыми зеркалами стереоскопа при помощи поводка.

После установки базиса и закладки снимков в кассеты прибора аэро-снимки и визирные нити рассматриваются стереоскопически. Перемещая основную каретку и каретки снимков вдоль оси  $X$ , а наблюдательную систему вдоль оси  $Y$  и установив в соответствующее положение корректоры,

наблюдают различные точки стереопары и измеряют их исправленные разности продольных параллаксов, по которым вычисляют высоты точек и зарисовывают рельеф.

Для автоматического учета поправки  $\delta P$  к измеренной разности продольных параллаксов в соответствии с формулой (3) топографический стереометр СТД-2 имеет шесть корректоров, каждый из которых учитывает одно какое-то слагаемое в правой части выражения (3).

Масштабный корректор  $\Delta d$  служит для устранения влияния наклона базиса  $v$  и продольного угла наклона левого снимка  $\alpha_L$ . Он состоит из двух линеек, которые вращаются вокруг оси  $C$ , укрепленной на станине прибора, направляющих линеек  $\ell_1$  и  $\ell_2$ , роликов  $r_1$  и  $r_2$ . Линейка  $\ell_1$  связана с общей кареткой, а  $\ell_2$  – с кареткой правого снимка (рис. 2).

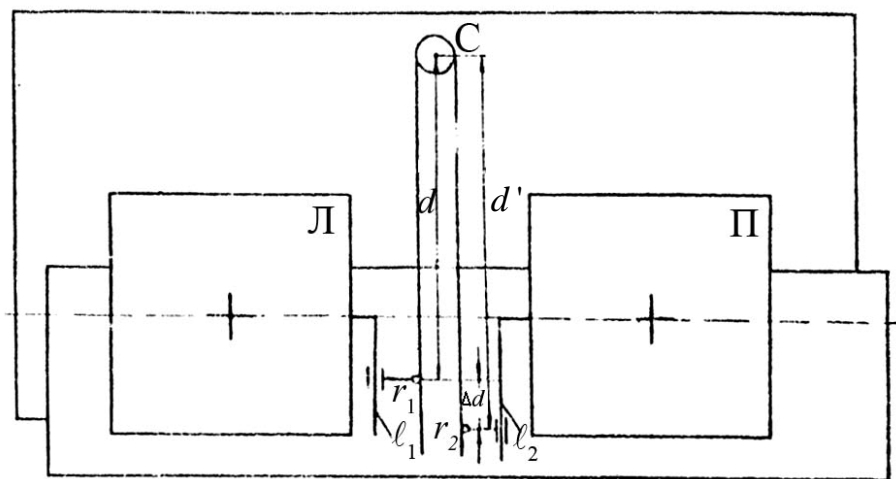


Рис. 2

Когда линейки перпендикулярны оси  $X$  прибора, тогда правая измерительная нить совмещена с главной точкой правого аэроснимка.

Если расстояние от оси вращения прибора  $C$  до центра роликов одинаковы, т.е. если  $d = d'$ , то при перемещении основной каретки на величину  $X$  на эту же величину переместится и правая каретка. Если  $d \neq d'$ , то основная и правая каретки перемещаются с различными скоростями. Таким образом, создается некоторая поправка к разностям продольных параллаксов при переходе от точки к точке вдоль оси  $X$ .

Чтобы разность величин перемещений левой и правой кареток равнялась соответственно поправке в измерительную разность продольных параллаксов

$$\delta P_{\Delta d} = x_n \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f} \alpha_L \right),$$

необходимо сместить ролик  $r_2$  относительно  $r_1$  на величину

$$\Delta d = d \left( \frac{\Delta H}{H} - \frac{2P_1}{f} \alpha_n \right). \quad (4)$$

Конвергентное устройство  $\beta$  служит для введения поправки в измеряемую разность продольных параллаксов за взаимный продольный угол наклона  $\Delta\alpha$  (рис. 3).

Конструктивно корректор  $\beta$  объединен с корректором  $\Delta d$  в один узел; этот узел называют масштабно-конвергентным устройством или основным механизмом продольной коррекции.

Если даже длины линеек  $d$  и  $d'$  равны, но линейки между собой не параллельны, то правая каретка будет иметь дополнительное перемещение относительно общей каретки.

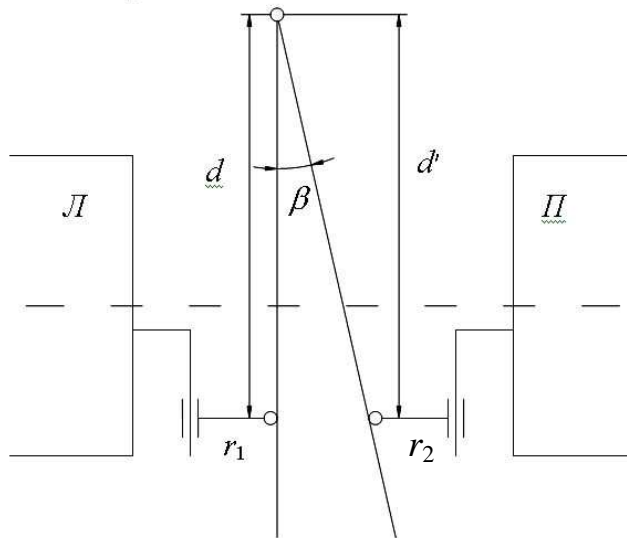


Рис. 3

Разность перемещения левой и правой кареток в этом случае будет равна поправке в измеряемую разность продольных параллаксов

$$\delta P_\beta = \frac{x_n^2}{f} \Delta\alpha$$

при условии, если между линейками конвергентного устройства установить угол  $\beta$ , равный

$$\beta = \frac{d}{f} \Delta\alpha. \quad (5)$$

Корректор взаимного поперечного угла  $\rho_0$  служит для устранения влияния взаимного поперечного угла наклона аэроснимков  $\Delta\omega$ . Этот корректор вводит поправку не путем дополнительного смещения аэроснимка, а посредством поворота правого нитедержателя.

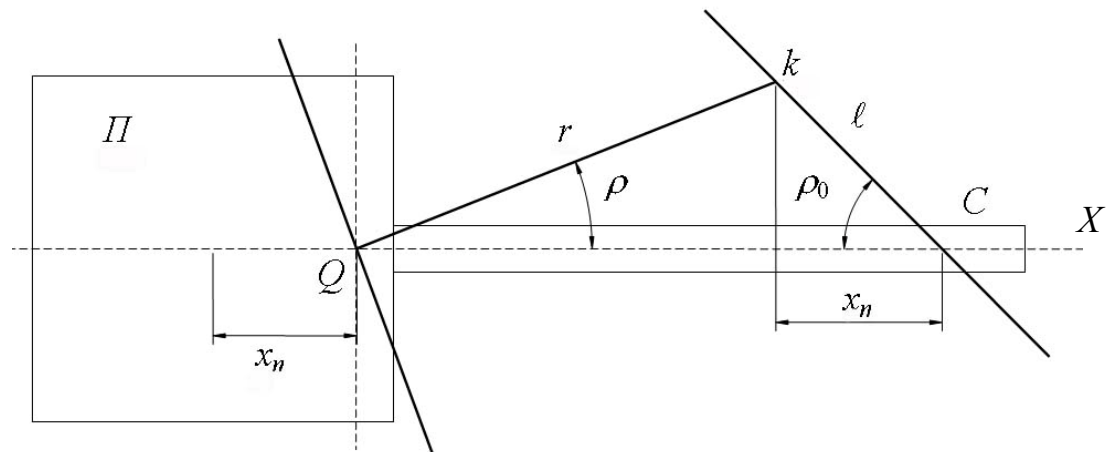


Рис. 4

Корректор  $\rho_0$  состоит из рычага  $r$ , ролика  $k$  и линейки  $\ell$  (рис. 4). Рычаг  $r$  под прямым углом соединен с правым нитедержателем и может вращаться вокруг оси  $Q$ , укрепленной на основании прибора. Линейка  $\ell$  может вращаться вокруг оси  $C$ , прикрепленной к правой каретке. Если линейку  $\ell$  установить под углом  $\rho_0$  к оси  $X$  прибора, то она своим левым концом через ролик  $k$  повернет рычаг  $r$ , который в свою очередь вызовет поворот нити на угол  $\rho$ . Значение угла  $\rho$  меняется в зависимости от абсциссы; когда нить проходит через главную точку правого снимка, она перпендикулярна оси  $X$  прибора, несмотря на разворот линейки  $\ell$ .

Вследствие поворота правой нити абсцисса наблюдаемой точки на правом аэроснимке получит поправку. Поправка к абсциссе будет равна поправке к измеряемой разности продольных параллаксов

$$\delta P_{\rho_0} = \frac{x_n y_n}{f} \Delta \omega$$

только в том случае, если линейку  $\ell$  развернуть на угол

$$\rho_0 = \frac{r}{f} \Delta \omega, \quad (6)$$

где  $r$  – длина рычага.

Корректор взаимного поперечного угла наклона и взаимного поворота снимков  $\chi_H$  служит для устранения суммарного влияния поперечного угла  $\omega_n$  (наклона левого снимка) и неточного совмещения начальных направлений с осью  $X$  прибора (рис. 5).

Этот корректор состоит из рычага, соединенного с правым нитедержателем под прямым углом. На нем может быть установлен угол  $\chi_H$  между рычагом и осью  $X$  прибора, на величину которого повернется правая нить.

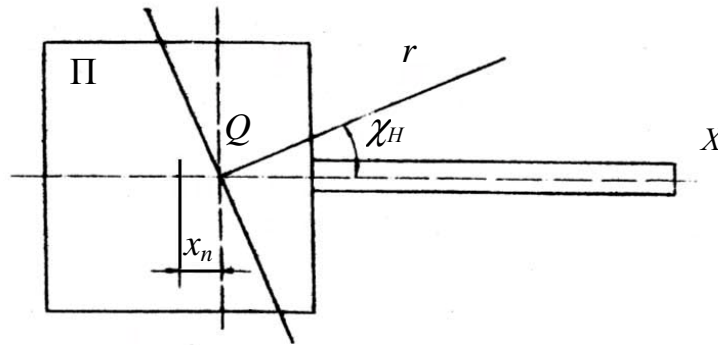


Рис. 5

В этом случае во все точки введется поправка

$$\delta P_{\chi_H} = y_n \left( \Delta \chi - \frac{P_1}{f} \omega_l \right),$$

если на шкале установить угол

$$\chi_H = \Delta \chi - \frac{P_1 \omega_l}{f}. \quad (7)$$

Дополнительные корректоры используются в том случае, если рельеф горный. Для того чтобы эти корректоры работали в соответствии с пятым и шестым членами уравнения (3), необходимо на их шкалах установить отсчеты

$$\gamma_1 = 2 \frac{d}{f} \alpha_l, \quad (8)$$

$$\gamma_2 = \frac{R}{f} \omega_l, \quad (9)$$

где  $d$  – длина линейки (см. рис. 2);

$R$  – длина рычага корректора  $\gamma_2$ .

Так как в процессе обучения снимки горного рельефа не используются, то более подробно эти корректоры рассматривать не будем.

Если выразить поправки к разности продольных параллаксов через установочные величины корректоров, то мы получим формулу, являющуюся аналитическим выражением геометрической работы корректоров СТД-2:

$$\delta P = \frac{x_n}{d} \Delta d - \frac{x_n^2}{d} \beta + \frac{x_n y_n}{r} \rho_0 - y_n \chi_H + \frac{x_n}{d} \Delta P \gamma_1 - \frac{y_n}{d} \Delta P \gamma_2. \quad (10)$$

### *Обработка снимков на стереометрах*

Обработка аэроснимков на топографическом стереометре заключается в определении высот характерных точек местности и рисовке горизонталей.

Определение превышений по аэроснимкам основано на решении прямой пространственной засечки. Для идеального случая съемки, т.е. для

случая, когда базис фотографирования горизонталей и углы наклона снимков равны нулю, превышения точек местности вычисляются по формуле (1). Используемое в этой формуле значение  $\Delta P$  измеряют на стереомере. Но обычно условия съемки отличаются от идеальных, и это значение, как правило, искажено за счет углов наклона снимков и базиса фотографирования.

Поэтому для измерения  $\Delta P$  снимки необходимо предварительно ориентировать, т.е. установить снимки и корректоры прибора в такое положение, при котором в измеренных разностях продольных параллаксов будут автоматически учитываться и исключаться искажения, вызванные влиянием углов наклона.

Существуют три способа ориентирования аэроснимков: ориентирование по установочным величинам, по опорным высотным точкам и комбинированный способ.

Рассмотрим процесс обработки снимков равнинных или всхолмленных районов. Для обработки таких снимков достаточно использовать четыре корректора.

Ориентирование аэроснимков на стереомере по установочным величинам осуществляется путем установки на шкалах корректоров величин  $\Delta d, \beta, \rho_0$  и  $\chi_H$ , вычисленных по элементам ориентирования аэроснимков.

Ориентирование аэроснимков по опорным высотным точкам выполняется при помощи корректоров путем установки их в нужное положение по значениям расхождений измеренных и предвычисленных разностей продольных параллаксов для точек с известными высотами. Расхождения обусловлены влиянием элементов ориентирования снимков.

При комбинированном способе ориентирование снимков выполняется путем сочетания первых двух способов. В этом случае один ( $\Delta\alpha$ ) или два ( $\Delta\alpha$  и  $\Delta\omega$ ) элемента взаимного ориентирования аэроснимков определяют заранее по измеренным на стереокомпараторе поперечным параллаксам и устанавливают на шкалах соответствующих корректоров.

Комбинированный способ получил самое широкое распространение, так как методы определения элементов ориентирования снимков в полете, необходимых для первого способа, еще не обеспечивают точности, требуемой для стереофотограмметрической съемки. Способ же ориентирования снимков только по высотным точкам приводит к ряду приближений при решении задачи, так как корректоры  $\Delta d$  и  $\beta$  оказывают максимальное действие при  $X_{\max}$ .

При комбинированном способе ориентирования количества высотных опорных точек не должно быть меньше четырех.

Опорные точки выбирают на аэроснимке таким образом, чтобы обеспечить необходимую точность решения задачи и чтобы положение точки зависело от условия работы корректора. Максимальная точность установки корректора будет в том случае, когда его движение будет вызывать максимальное изменение разности продольных параллаксов.

Из выражения (10) следует, что максимальное изменение  $\delta P$  зависит от выбора текущих координат  $(X, Y)$  взятой точки.

Из анализа формулы (10) для каждого коррекционного механизма получим:

- для  $\Delta d - \delta P_{\max}$  при  $X_{\max}$ ;
- для  $\beta - \delta P_{\max}$  при  $X_{\max}$ ;
- для  $\rho_0 - \delta P_{\max}$  при  $X_{\max}, Y_{\max}$ ;
- для  $\chi_n - \delta P_{\max}$  при  $Y_{\max}$ .

Графически это показано на рис. 6.

Корректоры должны устанавливаться в таком порядке, чтобы каждое последующее исправление не влияло на ранее полученный результат. Этому же условию необходимо подчинить и расположение точек.

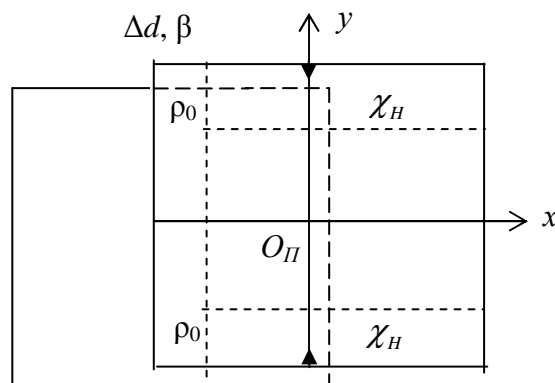


Рис. 6

Наиболее целесообразный порядок включения в работу корректоров и соответствующего расположения точек дан на рис. 7.

На рисунке цифрами указан порядок наблюдения точек, а буквами – каким корректором надлежит вести согласование разностей продольных параллаксов на этих точках.

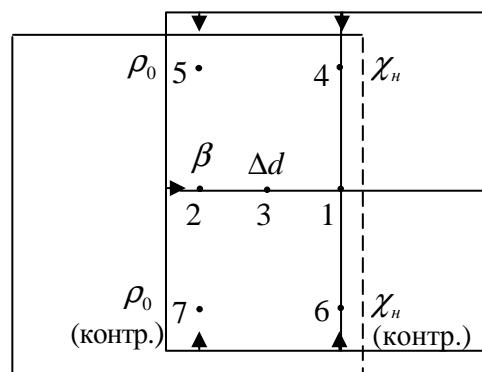


Рис. 7

Обработка аэроснимков на топографическом стереометре включает следующие процессы: подготовительные работы, ориентирование снимков, рисовку рельефа и набор пикетов.

*Подготовительные работы.* В процессе подготовительных работ получают все исходные данные, необходимые для обработки аэроснимков: определяют элементы взаимного ориентирования по результатам измерений на стереокомпараторе, изготавливают и оформляют аэроснимки, определяют высоту фотографирования, предвычисляют истинные разности продольных параллаксов.

Подготовка аэроснимков заключается в отождествлении и перенесении высотных опорных точек с оригиналов полевой и фотограмметрической подготовки на правый контактный отпечаток. При переносе точек с оригиналов на контактный отпечаток не следует накалывать их иглой или карандашом.

Каждая высотная точка оформляется кружком диаметром 8 – 10 мм черной тушью, надпись делается в виде дроби, в числителе которой пишется номер точки, а в знаменателе – ее высота.

Для вычисления истинных разностей продольных параллаксов  $\Delta P_i$  по формуле (1) необходимо знать базис фотографирования в масштабе исходной точки и высоту фотографирования над ней.

Существует несколько способов определения базиса фотографирования. Чаще всего используют формулу

$$b_o = \frac{b_l + b_n}{2} + f \Delta\alpha + \frac{b_{cp}^2}{2f} \Delta\alpha. \quad (11)$$

Значения  $b_l$  и  $b_n$  при этом измеряются по шкале  $X$  стереометра после ориентирования аэроснимков по начальному направлению, для чего нить стереоскопически наводится на главные точки правого и левого аэроснимков и на основании отсчетов по шкалам  $X$  и продольных параллаксов подсчитываются значения

$$\left. \begin{aligned} b_n &= x_l - x_n \\ b_l &= b_n + \Delta P \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Если исходная точка не совпадает с главной точкой правого аэроснимка, то базис фотографирования в масштабе исходной точки вычисляется по формуле

$$b_n = b_o + \Delta P. \quad (13)$$

Высота фотографирования может быть определена несколькими способами:

- 1) по показаниям радиовысотомера;
- 2) по отрезкам, измеренным на снимке и на местности или на плановой основе.

При определении абсолютной высоты по измерениям отрезков используют формулу

$$H_a = \frac{A_1 + A_2}{2} + \frac{d_o M}{d} f, \quad (14)$$



где  $A_1$  и  $A_2$  – отметки концов отрезка;  
 $d_o$  – расстояние, измеренное на основе;  
 $d$  – это же расстояние, измеренное на снимке;  
 $f$  – фокусное расстояние аэрофотоаппарата.

Тогда высота фотографирования над начальной точкой будет

$$H_n = H_a - A_n, \quad (15)$$

где  $A_n$  – высота начальной точки.

Истинные разности продольных параллаксов вычисляют на основании формулы (1)

$$\Delta P = \frac{b_n h_i}{H_n - h_i}, \quad (16)$$

где  $h_i$  – разность высот между текущей и исходной точками;  
 $b_n$  – базис фотографирования, вычисленный по формуле (13).

Результаты вычислений истинных разностей продольных параллаксов сводятся в табл. 1.

Перед началом ориентирования аэроснимков на всех шкалах прибора устанавливают значения мест нулей ( $MO$ ). На шкале конвергентного устройства устанавливают величину  $\beta$ , вычисленную по формуле (5).

Таблица 1

Вычисление разностей продольных параллаксов

№ точек	$A$ , м	$h$ , м	$\Delta P$ , мм	Постоянные
1	276,1	0	0	$H_n = 1276$ м
2	302,4	+26,3	+1,43	$b_n = 68,0$ мм
3	290,1	+14,0	+0,75	$f = 98,4$ мм
4	257,8	-18,3	-0,96	$\Delta\alpha = +18'$
5	294,7	+18,6	+1,00	
6	264,4	-11,7	-0,62	

*Ориентирование снимков* может быть выполнено с использованием шести высотных точек и четырех. Ориентирование по шести высотным точкам выполняется в том случае, если известна одна установочная величина –  $\beta$ .

Если в процессе подготовительных работ вычислены установочные величины для корректоров  $\beta$  и  $\rho_o$ , то ориентирование выполняют по четырем точкам.

Процессу ориентирования предшествует процесс центрирования аэроснимков в кассетах. Центрирование аэроснимков заключается в установке их в такое положение, при котором их главные точки совпадут с центрами вращения кассет.

Главную точку снимка получают как точку пересечения линий, соединяющих противоположные координатные метки.

Перед центрированием совмещают узелки, навязанные на нитях, с центрами вращения кассет. При стереоскопическом наблюдении должна быть одна нить и один узелок. Если наблюдается два узелка, то их совмещают, вращая винт для устранения видимых поперечных параллаксов. Затем, вращая кремальерный винт, совмещают узелок с центром вращения кассеты (например, левой). На эту кассету укладывают снимок таким образом, чтобы с узелком совпала главная точка снимка (левого). Снимок закрепляется зажимом. Затем, вращая кремальерный винт, совмещают узелок другой нити с центром кассеты. Закладывают следующий снимок таким же образом. Перекрывающаяся часть аэроснимков должна располагаться внутри стереопары.

Ориентирование по начальному направлению заключается в устранении поперечных параллаксов узелка нити на главных точках правого и левого снимков. Для этого стереоскопически наводят нить на главную точку снимка и, если наблюдается поперечный параллакс узелка нити (наблюдатель видит на нити два узелка), то его устраняют поворотом другого снимка в своей плоскости, вращая винт  $\chi$  этого снимка.

Следовательно, поперечный параллакс на главной точке левого снимка устраняется поворотом правого снимка и наоборот, параллакс на главной точке правого снимка устраняется поворотом левого снимка.

Устранить поперечный параллакс для снимка невозможно поворотом этого же снимка по следующей причине. Так как поперечный параллакс есть разность ординат идентичных точек левого и правого снимков  $q = y_l - y_n$ , то он не будет наблюдаться в том случае, когда узелки обеих нитей проектируются на идентичные контуры снимков. Если при проектировании (совмещении) узелка нити на главную точку, допустим, левого снимка, наблюдается поперечный параллакс, то необходимо изменить ординаты  $y_l$  либо  $y_n$  так, чтобы получить  $y_l = y_n = 0$ . Но так как главная точка левого снимка совмещена с центром вращения левой кассеты, то вращение левого снимка вокруг главной точки не приведет к изменению  $y_l$ , а следовательно, и к устранению поперечного параллакса. Очевидно, нужно вращать правый снимок и изменить  $y_n$ . Аналогично по этой же причине для устранения параллакса для правого снимка необходимо изменить  $y_l$ , т. е. вращать левый снимок. После ориентирования снимков по начальному направлению отчетливое стереоскопическое восприятие модели должно наблюдаться по всей площади.

При ориентировании снимков по шести высотным точкам последние должны располагаться так, как показано на рис. 8.

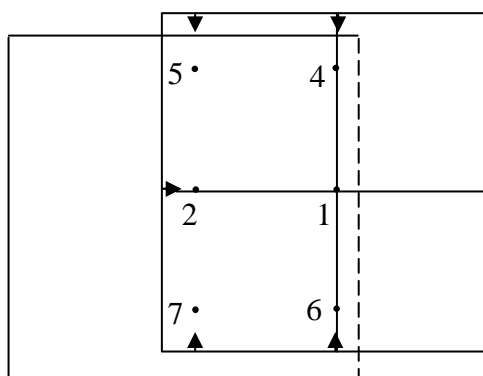


Рис. 8

На практике расположение опорных точек обычно несколько отличается от схемы, приведенной на рис. 8, поэтому процесс ориентирования выполняется по методу последовательных приближений. Визирную нить стереоскопически наводят на точку 1 и в графу 2 журнала ориентирования (табл. 2) записывают отсчет по параллактическому винту. Прибавляя к этому отсчету вычисленные разности продольных параллаксов точек 2, 3, 5 относительно точки 1, записывают полученные результаты в графу 3.

Вычисленный отсчет в графе 3 для точки 2 устанавливают на параллактическом винте и переходят к наблюдению точки 2. Если нить не касается точки, то добиваются касания нити, действуя корректором  $\Delta d$ .

Таблица 2

Журнал ориентирования

№ точек	Отсчет, мм	Должно быть, мм	№ точек	Отсчет, мм	Должно быть, мм	Разность	Установочные данные	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	70,47		Контроль ориентирования					
2		71,90						
4		71,22	1	70,56				
5		69,51	2	71,98	71,99	-0,01	$\beta = 0^{\circ}26'$	
			4	71,31	71,31	0,00	$\rho_0 = 358^{\circ}25'$	
			5	69,62	69,60	+0,02	$\chi_H = 1^{\circ}16'$	
1	70,55		6	71,56	71,56	0,00		
2		71,98	7	69,97	69,94	+0,03		
4		71,30						
5		69,59						

Затем на параллактическом винте устанавливают вычисленный отсчет для точки 4. Если визирная нить не касается точки 4, то касания добиваются корректором  $\chi_H$ .

После этого переходят к наблюдению точки 5. Для этого на параллактическом винте устанавливают отсчет из графы 3 на точку 5 и добиваются касания нити в точке 5 корректором  $\rho_0$ .

После первого приближения наблюдают точку 1. Так как точка 1, как правило, не совпадает с главной, то на параллакс этой точки будут воздействовать все корректоры стереометра, и при наведении на эту точку может получиться отсчет по параллактическому винту, отличный от предыдущего, принятого для вычисления отсчетов на точки 2, 4 и 5. Весь процесс ориентирования в этом случае повторяют с возвращением на точку 1. Если на точке 1 отсчет не изменится, то результаты ориентирования контролируют по точкам 6 и 7. Ориентирование считается законченным, если разность между полученным отсчетом и предвычисленным не превышает  $\pm 0,03$  мм. Записи контроля ориентирования ведут в графах 4 – 7 журнала.

При ориентировании по четырем высотным точкам используют точки 4, 5, 6, 7 (рис. 9).

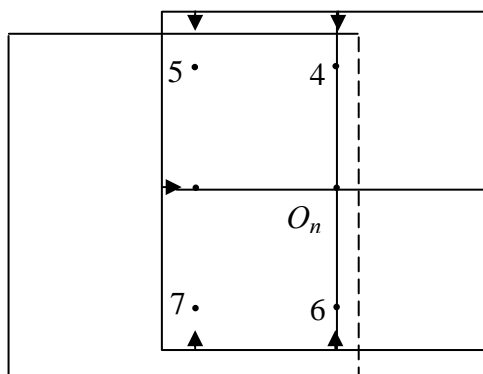


Рис. 9

В этом случае за начальную принимают точку 4, относительно которой вычисляются истинные разности продольных параллаксов и базис в масштабе четвертой точки.

Ориентирование выполняют по парам точек в такой последовательности: 4-6, 5-7 и 4-5.

Записи ведут в журнале ориентирования (табл. 3).

Стереоскопически визируют на точки 4 и 6 и записывают отсчеты  $P_4$  и  $P_6$  по параллактическому винту в графу 2 «Отсчет». Предрассчитывают отсчет, который должен получиться по шкале продольных параллаксов при наведении на точку 6 (графа 3). Для этого к отсчету на точку 4 прибавляют вычисленную разность продольных параллаксов

$$P'_6 = P_4 + \Delta P_{6-4}. \quad (17)$$

## Журнал ориентирования

№ точки	Отсчет, мм	Должно быть, мм	Среднее, мм	Разность	№ точки	Отсчет, мм	Должно быть, мм	Разность
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	67,50				Контроль ориентирования			
6	70,35	70,00	70,18	+0,35				
4	67,72							
6	70,22	70,22		0,00	4	69,69		

5	69,02				5	70,35	70,37	0,02
7	65,70	64,74	65,22	+0,96	6	70,20	70,19	+0,01
					7	68,10	68,09	+0,01
5	69,50							
7	65,20	65,22		-0,02				
4	67,69							
5		70,37						

На параллактическом винте устанавливают средний отсчет

$$P_6'' = \frac{1}{2}(P_6 + P_6') \quad (18)$$

и при помощи корректора  $\chi_n$  добиваются касания нити в точке 6. Повторяют ориентирование по точкам 4-6 до тех пор, пока разность  $P_6 - P_6'$  не будет меньше 0,04 мм.

Затем визируют на точку 5, снимают отсчет по параллактическому винту на эту точку  $P_5$  и вычисляют отсчет для точки 7

$$P_7' = P_5 + \Delta P_{7-5}. \quad (19)$$

Визируют на точку 7, снимают отсчет, по параллактическому винту на эту точку и, если разность  $P_7 - P_7'$  больше 0,04 мм, то на шкале продольных параллаксометров устанавливают средний отсчет

$$P_7'' = \frac{1}{2}(P_7 + P_7'). \quad (20)$$

Изменяют установку угла  $\rho_0$ , так, чтобы визирная нить касалась точки 7 модели.

Возвращаются на точки 4-6 и проверяют установку корректора  $\chi_n$ .

Согласование отсчетов на точках 4-5 производится при помощи корректора  $\Delta d$ . Для этого вычисленную разность продольных параллаксометров прибавляют к отсчету, полученному на точку 4, т.е.

$$P_5' = P_4 + \Delta P_{5-4}, \quad (21)$$

и устанавливают его на параллактическом винте. Касание нити точки 5 достигается корректором  $\Delta d$ .

Так как опорные точки не всегда расположены по стандартной схеме, то ориентирование выполняется методом последовательных приближений.

Ориентирование снимков считают законченным, если измеренные разности продольных параллаксов любой пары опорных точек отличаются от вычисленных не более чем на 0,04 мм.

### *Рисовка рельефа*

После ориентирования аэроснимков приступают к рисовке рельефа, определив предварительно отсчеты по параллактическому винту, соответствующие высотам горизонталей. Для этого стереоскопически просматривают местность, находят самую высокую и самую низкую точки и берут отсчеты на них по параллактическому винту. Определяют разность продольных параллаксов между самой высокой (низкой) точкой и исходной. По этой разности вычисляют превышение

$$h = \frac{H_n \Delta P}{b_n + \Delta P}.$$

Зная превышения самой высокой и самой низкой точек стереопары относительно начальной, можно определить высоты этих точек

$$\left. \begin{aligned} A_B &= A_{нач.} + h_{в-нач.} \\ A_n &= A_{нач.} + h_{н-нач.} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Проведение горизонталей на аэроснимках при помощи стереометра связано с установкой параллактического винта на отсчет, соответствующий высоте сечения рельефа горизонталью. Поэтому необходимо составить таблицу высот горизонталей (табл. 4). Расчеты выполняются по формуле

$$P_i = P_n + \frac{h_i}{H - h_i} b, \quad (23)$$

где  $P_i$  – отсчет по параллактическому винту на горизонталь;

$P_n$  – отсчет на начальную точку;

$h_i$  – превышение горизонтали над исходной точкой.

Отсчеты по параллактическому винту  $P_i$  вычисляются только для горизонталей, подлежащих утолщению при оформлении изготавливаемого плана, т.е. для каждой пятой горизонтали. Отсчеты для других горизонталей находят путем интерполяции.

## Высоты горизонталей

Отметка горизонталей, м	Превышение над начальной точкой		Отсчет по параллактическому винту, мм	Примечание
	$h$ , м	$\Delta P$ , мм		
250	-26,1	-1,36	69,13	Отметка начальной точки $A_n = 276,1$ м
255			69,39	
260			69,65	
265			69,91	Начальный отсчет $P_n = 70,49$ мм
270			70,17	
275	-1,1	-0,06	70,43	
...				

Перед проведением горизонталей путем просмотра стереопары изучают формы рельефа.

Одновременно с просмотром аэроснимков берут отсчеты по параллактическому винту на все характерные точки местности, высоты которых должны быть подписаны на карте. В пределах стереопары должно быть не менее 10 таких точек.

Рисовку горизонталей начинают с наиболее характерных и простых форм рельефа, которые могут отображаться горизонталями с наибольшей полнотой и достоверностью.

Для проведения горизонтали на шкале параллактического винта устанавливают предвычисленный отсчет рисуемой горизонтали. Перемещая основную каретку и наблюдательную систему, замечают сечение нитью модели местности и по этому сечению на правом снимке карандашом аккуратно проводят горизонталь.

При наличии лесного покрова промеряют среднюю высоту деревьев и, введя поправку в отсчет по параллактическому винту, проводят горизонталь относительно поверхности земли, а не изображаемой поверхности вершин (крон) деревьев.

В некоторых местах для большей выразительности и наглядности проводят полугоризонталь.

Процесс рисовки завершается наблюдением опорных точек, чтобы убедиться в неизменности установки корректоров.

Контролем рисовки горизонталей является сводка с соседней обработанной стереоскопической пары и расхождение высот на избыточных геодезических точках.

## Лабораторная работа «Обработка снимков на универсальных приборах»

Эта лабораторная работа включает изучение устройства, проверок универсальных приборов: СПР, СР, СЦ, выполнение взаимного, внешнего ориентирования и составление участка топографической карты на перечисленных универсальных приборах.

Устройство приборов и методика работы приведены в конспекте лекций (часть 2, раздел 8).

Прежде чем приступить к работе на приборе, необходимо рассчитать установочные данные. Коэффициент увеличения  $K_y$  вычисляют для обеспечения требуемого горизонтального масштаба  $1:m_2$  на основании масштаба карты (плана) по формуле

$$K_y = \frac{m'_2}{M},$$

где  $m'_2$  – примерный горизонтальный масштаб, рассчитываемый в зависимости от прибора:

– для СД  $m'_2 = \frac{m}{1,2},$

– для СЦ  $m'_2 = \frac{m}{1,3},$

1,2 и 1,3 – постоянная прибора,

$m$  – знаменатель масштаба фотографирования.

По табл. 5 (для СД) и табл. 6 (для СЦ) выбирают коэффициент увеличения  $K_y$ , близкий к расчетному, и соответствующие этому коэффициенту шестерни или коды, которые должны быть установлены на приборе. В ходе масштабирования расхождения расчетного и табличного  $K_y$  будут ликвидированы.

Таблица установки шестерен на координатограф СД

Таблица 5

Коэфф. увеличения $K_y$	Шестерни		Коэфф. увеличения $K_y$	Шестерни		Коэфф. увеличения $K_y$	Шестерни	
	А	Б		А	Б		А	Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,8000	40	50	0,9500	76	80	1,1111	50	45
0,8036	45	56	0,9516	59	62	1,1132	59	53
0,8064	50	62	0,9556	43	49	1,1161	125	112



Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,8083	97	120	0,9574	45	47	1,1200	56	50
0,8173	43	53	0,9583	69	72	1,1250	45	40
0,8158	62	76	0,9600	120	125	1,1276	53	47
0,8194	59	72	0,9656	112	116	1,1343	76	67
0,8220	97	118	0,9667	116	120	1,1356	67	59
0,8298	39	47	0,9710	67	69	1,1538	45	39
0,8358	56	67	0,9750	39	40	1,1546	112	97
0,8375	67	80	0,9824	112	114	1,1594	80	69
0,8393	47	56	0,9833	118	120	1,1613	72	62
0,8474	50	59	1,0000	80	80	1,1623	50	43
0,8490	45	53	1,0178	114	112	1,1698	62	53
0,8511	40	47	1,0256	40	39	1,1750	47	40
0,8548	53	62	1,0298	69	67	1,1778	53	45
0,8600	43	50	1,0345	120	116	1,1800	59	50
0,8611	62	72	1,0357	116	112	1,1915	56	47
0,8625	69	80	1,0417	125	120	1,1940	80	67
0,8667	39	45	1,0435	72	69	1,1964	67	56
0,8806	59	67	1,0444	47	45	1,2051	47	39
0,8868	47	53	1,0465	45	43	1,2125	97	80
0,8889	40	45	1,0508	62	59	1,2165	118	97
0,8929	50	56	1,0526	80	76	1,2203	72	59
0,8960	112	125	1,0536	59	56	1,2258	76	62
0,8983	53	59	1,0556	76	72	1,2326	53	43
0,9000	45	50	1,0566	56	53	1,2371	120	97
0,9032	56	62	1,0593	125	118	1,2400	62	50
0,9070	39	43	1,0600	53	50	1,2500	50	40
0,9120	114	125	1,0638	50	47	1,2553	59	47
0,9149	43	47	1,0714	120	112	1,2642	67	53
0,9254	62	67	1,0746	72	67	1,2763	97	76
0,9302	40	43	1,0750	43	40	1,2820	50	39
0,9333	112	120	1,0776	125	116	1,2857	72	56
0,9400	47	50	1,0806	67	62	1,2881	76	59
0,9434	50	53	1,0930	47	43	1,2903	80	62
0,9464	53	56	1,0965	125	114	1,3019	69	53
0,9474	72	76	1,1014	76	69	1,3023	56	43
0,9492	56	59	1,1026	43	39	2,0714	116	56
			1,1072	62	56	2,4000	120	50

Таблица кодов для координатографа СЦ

Коэффициент увеличения $K_y$	Код	Коэффициент увеличения $K_y$	Код	Коэффициент увеличения $K_y$	Код
2,2523	148	1,9380	172	1,1299	295
2,2371	149	1,9268	173	1,1261	296
2,2222	150	1,9157	174	1,1223	297
2,2075	151	1,9048	175	1,1186	298
2,1930	152	1,1494	290	0,9416	354
2,1786	153	1,1455	291	0,9390	355
2,1645	154	1,1416	292	0,9363	356
2,1505	155	1,1377	293	0,9337	357
2,1368	156	1,1338	294	0,9311	358

При работе на СПР, где создание оригинала карты (плана) выполняется непосредственно на экране прибора, установочные величины для обеспечения горизонтального масштаба не выбираются.

Кроме коэффициента увеличения  $K_y$ , вычисляют вертикальный масштаб  $1:M_e$  по формуле

$$M_e = m_z \frac{f}{F},$$

где  $f$  – фокусное расстояние аэрофотоаппарата,  
 $F$  – фокусное расстояние прибора.

Для обеспечения возможности получать отметки в метрах (в зависимости от рассчитанного вертикального масштаба) выбирают шестерни (коды), устанавливаемые на шкалу высот. Данные для выбора шестерен (кодов) приведены в табл. 7, 8 и 9.

Таблица установки шестерен на шкалу высот СД

Таблица 7

Масштаб высот	Шестерни	
	правая	левая
1	2	3
1:7800	39	50
1:7835	76	97
1:7910	53	67
1:7966	47	53
1:15800	79	50
1:15833	114	72
1:16000	72	45
1:16047	69	43
1:5132	39	76
1:5155	50	97

Окончание табл. 7

1	2	3
1:5167	62	120
1:5175	59	114
1:5254	62	118
1:18302	97	53
1:18372	79	43
1:18387	114	62
1:18462	72	39
1:18605	80	43
1:15932	47	59
1:15833	114	72

Таблица 8

Таблица кодов для счетчика высот СЦ

Масштаб $M_6$ высот	Код	Масштаб $M_6$ высот	Код
<b>Точность отсчета 0,1 м</b>			
17857	56	10000	10
17544	57	9091	11
17241	58	8333	12
16949	59	7692	13
16667	60	7143	14
<b>Точность отсчета 0,01 м</b>			
15385	65	6667	15
15152	66	6250	16
14925	67	6832	17
14706	68	5556	18
14493	69	5263	19
14286	70	5000	20
		4762	21
		4545	22

Таблица установок шкал и шестерен на счетчике высот (СПР)

Таблица 9

Масштаб высот	Число зубцов		Номер шкалы	Масштаб высот	Число зубцов		Номер шкалы
	верхняя	нижняя			верхняя	нижняя	
1	2	3	4	5	6	7	8
1:1000	80	80	1	1:3000	60	100	2
1:1038	108	52	2	1:3333	40	120	1
1:1105	84	76	1	1:3333	64	96	2
1:1133	111	49	2	1:3675	43	117	1
1:1222	88	72	1	1:3696	68	92	2
1:1239	114	46	2	1:4035	46	114	1
1:1353	92	68	1	1:4091	72	88	2

Окончание табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8
1:1360	117	43	2	1:4414	49	111	1
1:1500	96	64	1	1:4524	76	84	2
1:1500	120	40	2	1:4815	52	108	1
1:1667	100	60	1	1:5000	80	80	2
1:1767	40	120	2	1:5385	56	104	1
1:1838	43	117	2	1:5526	84	76	2
1:1857	104	56	1	1:6000	60	100	1
1:2018	46	114	2	1:6111	88	72	2
1:2077	108	52	1	1:6667	64	96	1
1:2207	49	111	2	1:6765	92	68	2
1:2265	111	49	1	1:7391	68	92	1
1:2407	52	108	2	1:7500	86	64	2
1:2478	114	46	1	1:8182	72	88	1
1:2692	56	104	2	1:8333	100	60	2
1:2721	117	43	1	1:9048	76	84	1
1:3000	120	40	1	1:9286	104	56	2

После взаимного и внешнего ориентирования снимков на всех универсальных приборах преобразованных связок проектирующих лучей (СПР, СД и СЦ) необходимо ввести децентрации, величины которых зависят от фокусного расстояния АФА и отсчетов на шкалах коррекционных механизмов. Данные параметры приведены в табл. 10, 11 и 12.

Таблица 10

Таблица для введения децентраций на СД ( $f = 100$  мм)

Отсчеты $K_{\alpha}, K_{\omega}$	Отсчеты		Отсчеты $K_{\alpha}, K_{\omega}$	Отсчеты	
	$\Delta X$	$\Delta Y$		$\Delta X$	$\Delta Y$
1	2	3	4	5	6
4,0	4,57	4,23	10,0	10,00	10,00
4,2	5,04	4,42	10,2	10,17	10,19
4,4	5,21	4,62	10,4	10,34	10,38
4,6	5,58	4,81	10,6	10,51	10,58
4,8	5,36	5,00	10,8	10,68	10,77
5,0	5,73	5,19	11,0	10,85	10,96
5,2	5,90	5,38	11,2	11,02	11,15
5,4	6,07	5,58	11,4	11,20	11,35
5,6	6,21	5,77	11,6	11,37	11,54
5,8	6,41	5,96	11,8	11,54	11,73
6,0	6,58	6,16	12,0	11,71	11,92
6,2	6,75	6,34	12,2	11,88	12,12
6,4	6,92	6,54	12,4	12,05	12,31
6,6	7,10	6,73	12,6	12,22	12,50
6,8	7,26	6,92	12,8	12,39	12,69

1	2	3	4	5	6
7,0	7,44	7,12	13,0	12,56	12,88
7,2	7,61	7,31	13,2	12,74	13,08
7,4	7,78	7,50	13,4	12,90	13,27
7,6	7,95	7,69	13,6	13,08	13,46
7,8	8,12	7,88	13,8	13,25	13,66
8,0	8,29	8,08	14,0	13,42	13,84
8,2	8,46	8,27	14,2	13,59	14,04
8,4	8,63	8,46	14,4	13,76	14,23
8,6	8,80	8,65	14,6	13,93	14,42
8,8	8,98	8,85	14,8	14,10	14,62
9,0	9,15	9,04	15,0	14,27	14,81
9,2	9,32	9,23	15,2	14,44	15,00
9,4	9,49	9,42	15,4	14,62	15,19
9,6	9,66	9,62	15,6	14,79	15,38
9,8	9,83	9,81	15,8	14,96	15,58

Таблица 11

Таблица для введения децентраций на СЦ ( $f = 100$  мм)

Отсчеты	Отсчеты		Отсчеты	Отсчеты	
$K_\alpha, K_\omega$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$K_\alpha, K_\omega$	$\Delta X$	$\Delta Y$
1	2	3	4	5	6
8,8	9,70	9,04	15,0	15,00	15,00
9,0	9,87	9,23	15,2	15,17	15,19
9,2	10,04	9,42	15,4	15,34	15,38
9,4	10,21	9,62	15,6	15,51	15,58
9,6	10,58	9,81	15,8	15,68	15,77
9,8	10,36	10,00	16,0	15,85	15,96
10,0	10,73	10,19	16,2	16,02	16,15
10,2	10,90	10,38	16,4	16,20	16,35
10,4	11,07	10,58	16,6	16,37	16,54
10,6	11,21	10,77	16,8	16,54	16,73
10,8	11,41	10,96	17,0	16,71	16,92
11,0	11,58	11,16	17,2	16,88	17,12
11,2	11,75	11,34	17,4	17,05	17,31
11,4	11,92	11,54	17,6	17,22	17,50
11,6	12,10	11,73	17,8	17,39	17,69
11,8	12,26	11,92	18,0	17,56	17,88
12,0	12,44	12,12	18,2	17,74	18,08
12,2	12,61	12,31	18,4	17,90	18,27
12,4	12,78	12,50	18,6	18,08	18,46
12,6	12,95	12,69	18,8	18,25	18,66
12,8	13,12	12,88	19,0	18,42	18,84
13,0	13,29	13,08	19,2	18,59	19,04
13,2	13,46	13,27	19,4	18,76	19,23

Окончание табл. 11

1	2	3	4	5	6
13,4	13,63	13,46	19,6	18,93	19,42
13,6	13,80	13,65	19,8	19,10	19,62
13,8	13,98	13,85	20,0	19,27	19,81
14,0	14,15	14,04	20,2	19,44	20,00
14,2	14,32	14,23	20,4	19,62	20,19
14,4	14,49	14,42	20,6	19,79	20,38
14,6	14,66	14,62	20,8	19,96	20,58
14,8	14,83	14,81	21,0	20,13	20,77

Таблица 12

Таблица для введения децентраций на СПР

( $Vdx = MO - dx$ ;  $Vdy = MO - dy$ ;  $f = 100$  мм;  $MO_{\alpha,\omega} = 30,00$  мм;  
 $MO_{dx,dy} = 15,00$  мм)

Отсчет по счетчику корр. механизма прибора	Отсчет по шкале децентрации	Отсчет по счетчику корр. механизма прибора	Отсчет по шкале децентрации
60	3,80	30	15,00
59	4,17	29	15,37
58	4,54	28	15,75
57	4,92	27	16,12
56	5,29	26	16,49
55	5,66	25	16,86
54	6,04	24	17,24
53	6,41	23	17,61
52	6,78	22	17,99
51	7,16	21	18,36
50	7,53	20	18,73
49	7,90	19	19,11
48	8,28	18	19,48
47	8,65	17	19,85
46	9,02	16	20,23
45	9,40	15	20,60
44	9,77	14	20,98
43	10,15	13	21,35
42	10,42	12	21,72
41	10,89	11	22,10
40	11,27	10	22,47
39	11,64	9	22,84
38	12,01	8	23,22
37	12,39	7	23,59
36	12,76	6	23,96
35	13,13	5	24,34
34	13,51	4	24,71
33	13,88	3	25,08
32	14,25	2	25,46
31	14,63	1	25,83

После выполнения взаимного, внешнего ориентирования, введения децентраций и при отсутствии поперечных параллаксов приступают к составлению карт или планов.

### *Методики расчета установленных данных*

### **Расчет установочных данных на СД № 06**

Снимки: 4339 – 4340

Масштаб снимков  $1:m = 1:6100$

Масштаб создаваемого плана  $1:M = 1:5000$

Фокусное расстояние  $f = 199,57$  мм

Горизонтальный масштаб построенной модели  $m'_2 = \frac{m}{1,2} = \frac{6100}{1,2} = 5083$

Рассчитываем коэффициент увеличения  $K'_y = \frac{m'_2}{M} = 1,0166$ .

По табл. 5 выбираем коэффициент увеличения близкий к расчетному  $K_y = 1,0178$ .

По той же таблице выбираем шестерни, соответствующие коэффициенту увеличения  $K_y = 1,0178$ :

А = 114 зубцов (на прибор);

Б = 112 зубцов (на координатограф).

Рассчитываем горизонтальный масштаб модели, используя табличный коэффициент увеличения  $K_y = 1,0178$ ,  $m_2 = K_y M = 5089$ .

Рассчитываем коэффициент преобразования

$K_{np} = \frac{F}{f} = 0,65$  ( $F$  – фокусное расстояние прибора).

Используя  $K_{np}$ , вычисляем вертикальный масштаб построенной модели

$M'_6 = \frac{m_2}{0,65} = m_2 \frac{f}{F} = 7829$ .

Из табл. 7 выбираем близкий к расчетному вертикальный масштаб  $M_6 = 1:7835$  и соответствующие этому масштабу шестерни:

правая – 76;

левая – 97.

Установочная величина фокусного расстояния прибора

$F = \frac{m_2 f}{M_6} = \frac{5089}{7835} 199,57 = 129,62$ .

## Расчет установочных данных на СД № 21

Снимки: 1619 – 1618

Масштаб снимков  $1:m - 1:12500$

Масштаб создаваемого плана  $1:M - 1:5000$

Фокусное расстояние  $f = 200,09$  мм

Горизонтальный масштаб построенной модели  $m'_z = \frac{m}{1,2} = \frac{12500}{1,2} = 10417$ .

Рассчитываем коэффициент увеличения  $K'_y = \frac{m'_z}{M} = 2,0833$ .

По табл. 5 выбираем коэффициент увеличения близкий к расчетному  $K_y = 2,0714$ .

По той же таблице выбираем шестерни, соответствующие коэффициенту увеличения  $K_y = 2,0714$ :

А = 116 зубцов (на прибор);

Б = 56 зубцов (на координатограф).

Рассчитываем горизонтальный масштаб модели, используя табличный коэффициент увеличения  $K_y = 2,0714$ ,  $m_z = K_y M = 10357$ .

Рассчитываем коэффициент преобразования

$$K_{np} = \frac{F}{f} = 0,65 \quad (F - \text{фокусное расстояние прибора}).$$

Используя  $K_{np}$ , вычисляем вертикальный масштаб построенной модели

$$M'_g = \frac{m_z}{0,65} = m_z \frac{f}{F} = 15934.$$

Из табл. 7 выбираем близкий к расчетному вертикальный масштаб

$M_g = 1:15932$  и соответствующие этому масштабу шестерни:

правая – 47;

левая – 59.

Установочная величина фокусного расстояния прибора

$$F = \frac{m_z f}{M_g} = \frac{5089}{7835} 199,57 = 130,07.$$

## Расчет установочных данных на СД № 08

Снимки: 436 – 437

Масштаб снимков  $1:m - 1:29000$

Масштаб создаваемого плана  $1:M - 1:10000$



Фокусное расстояние  $f = 100,0$  мм

Горизонтальный масштаб построенной модели  $m'_2 = \frac{m}{1,2} = \frac{29000}{1,2} = 24167$ .

Рассчитываем коэффициент увеличения  $K'_y = \frac{m'_2}{M} = 2,4167$ .

По табл. 5 выбираем коэффициент увеличения близкий к расчетному  $K_y = 2,4000$ .

По той же таблице выбираем шестерни, соответствующие коэффициенту увеличения  $K_y = 2,4000$ .

А = 120 зубцов (на прибор);

Б = 50 зубцов (на координатограф).

Рассчитываем горизонтальный масштаб модели, используя табличный коэффициент увеличения  $K_y = 2,4000$ ,  $m_2 = K_y M = 24000$ .

Рассчитываем коэффициент преобразования

$K_{np} = \frac{F}{f} = 1,3$  ( $F$  – фокусное расстояние прибора).

Используя  $K_{np}$ , вычисляем вертикальный масштаб построенной модели

$M'_6 = \frac{m_2}{0,65} = m_2 \frac{f}{F} = 18461$ .

Из табл. 7 выбираем близкий к расчетному вертикальный масштаб

$M_6 = 1:18452$  и соответствующие этому масштабу шестерни:

правая – 72;

левая – 39.

Установочная величина фокусного расстояния прибора

$F = \frac{m_2 f}{M_6} = \frac{5089}{7835} 199,57 = 130,09$ .

### Расчет установочных данных на СЦ

Снимки: 63 – 64

Масштаб снимков  $1:m = 1:7300$

Масштаб создаваемого плана  $1:M = 1:5000$

Фокусное расстояние  $f = 110,0$  мм

Горизонтальный масштаб построенной модели  $m'_2 = \frac{m}{1,3} = \frac{7300}{1,3} = 5615$ .

Рассчитываем коэффициент увеличения  $K'_y = \frac{m'_z}{M} = 1,1231$ .

$$m_z = K_y M = 1,1223 \cdot 5000 = 5612.$$

По табл. 6 выбираем коэффициент увеличения близкий к расчетному  $K_y = 1,1223$ .

В соответствии с выбранным коэффициентом из таблицы выбираем код 297, соответствующий коэффициенту увеличения  $K_y = 1,1223$  и устанавливаем его в верхнем окне выбора масштаба электронного блока.

Рассчитываем коэффициент преобразования

$$K_{np} = \frac{F}{f} = 1,1818 \quad (F - \text{фокусное расстояние прибора}).$$

Используя  $K_{np}$ , вычисляем вертикальный масштаб построенной модели

$$M'_6 = \frac{m_z}{1,3} = m_z \frac{f}{F} = 4748.$$

Из табл. 8 выбираем близкий к расчетному вертикальный масштаб  $M_6 = 1:4762$ , которому соответствует код 21. Этот код устанавливаем в нижнем окне электронного блока.

Установочная величина фокусного расстояния прибора

$$F = \frac{m_z f}{M_6} = 129,63 \text{ мм}.$$

Снимки 4339 – 4340

$$m = 6100$$

$$K_y = 1,0178$$

$$m_6 = 7829$$

Снимки 1619 – 1618

$$m = 12500$$

$$K_y = 2,0714$$

$$m_6 = 15934$$

Снимки 436 – 437

$$m = 29000$$

$$K_y = 2,400$$

$$m_6 = 18461$$

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ДЛЯ СТУДЕНТОВ 3 КУРСА ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

## 1. Аэрофотосъемка

Фотограмметрия определяет формы, размеры и положение предметов в пространстве по их фотографическим изображениям. Наибольшее применение методы фотограмметрии получили в геодезии для создания топографических карт и планов по снимкам, полученным, как правило, с летательного аппарата, обычно с самолета.

Для картографирования территории выполняют плановую аэрофотосъемку, при которой оптическая ось аэрофотоаппарата (АФА) отклоняется от отвесной линии на угол не более  $3^\circ$ .

Летно-съёмочный процесс заключается в фотографировании местности при помощи АФА с заданной высоты полета серией параллельных маршрутов с определенным процентом продольного  $P$  и поперечного  $q$  перекрытий.

Высоту полета самолета относительно средней уровенной поверхности снимаемого участка называют высотой фотографирования  $H_\phi$ . По известному фокусному расстоянию  $f$  аэрофотоаппарата и высоте фотографирования  $H_\phi$  можно определить масштаб фотографирования  $1:m$  по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H_\phi}. \quad (1)$$

Это выражение имеет очень широкое применение в фотограмметрии.

В процессе аэрофотосъемки высоту полета выдерживают по барометрическому высотомеру. Этот прибор показывает высоту полета самолета относительно аэродрома вылета и эту высоту  $H_o$  называют относительной. Прибора, который показывал бы высоту фотографирования, нет, поэтому, чтобы получить снимки заданного масштаба, перед полетом вычисляют относительную высоту

$$H_o = H_\phi + A_\phi - A_{\text{аэр}}, \quad (2)$$

где  $A_\phi$  – средняя отметка снимаемого участка местности,

$A_{\text{аэр}}$  – отметка аэродрома.

Фотографирование выполняется таким образом, чтобы на соседних снимках изобразился один и тот же участок местности. Перекрытия между аэроснимками, принадлежащими одному маршруту, называют продольными  $P$ , а между маршрутами – поперечными  $q$  и выражают в процентах.

Минимальный % продольного перекрытия  $P_0 = 56 \%$ , поперечного –  $q_0 = 15 \%$ . Чтобы получить определенный процент продольного перекрытия, необходимо в полете выдерживать расстояние между соседними моментами экспозиции, т.е. базис фотографирования  $B_x$ , а для получения заданного процента поперечного перекрытия – расстояние между маршрутами  $B_y$ .

Точно выдерживать в полете заданные  $B_x$  и  $B_y$  невозможно. Для предупреждения возможных продольных фотограмметрических разрывов (когда  $P < 56$  %, может исчезнуть зона тройного перекрытия и тогда невозможно будет осуществить передачу координат с одной стереопары на соседнюю) и поперечных разрывов (вызванных погрешностями самолетовождения и рельефа местности) в нормативные продольное и поперечное перекрытия вводят поправки:

$$\begin{aligned} P &= P_0 + \Delta P_m + \Delta P_\alpha + \Delta P_h, \\ q &= q_0 + \Delta q_m + \Delta q_\alpha + \Delta q_h, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\Delta P_m, \Delta q_m$  – навигационные поправки;  $\Delta P_\alpha, \Delta q_\alpha$  – пилотажные поправки;  $\Delta P_h, \Delta q_h$  – поправки за рельеф, вычисляемые по формулам

$$\begin{aligned} \Delta P_h &= 0,5 \frac{h}{H_\phi} (100 - P_0), \\ \Delta q_h &= 0,5 \frac{h}{H_\phi} (100 - q_0), \end{aligned}$$

где  $h$  – разность экстремальных высот точек местности в пределах съемочного участка.

Пилотажные поправки зависят от величины фокусного расстояния АФА и при  $f \leq 200$  мм  $\Delta P_\alpha = \Delta q_\alpha = 3$  % .

Навигационные поправки зависят от масштаба фотографирования и их значения приведены в табл. 1

Таблица 1

Масштаб фотографирования	Навигационные поправки	
	$\Delta P_m, \%$	$\Delta q_m, \%$
1:4500 и крупнее	6	15
1:5000÷1:9000	5	13
1:10000÷1:24000	4	11
1:25000÷1:34000	3	9
1:35000 и мельче	2	7

По полученным величинам продольного  $P$  и поперечного  $q$  перекрытий рассчитывают базис фотографирования  $B_x$  и расстояние между маршрутами  $B_y$  согласно формулам:

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{\ell(100 - P)}{100} m, \\ B_y &= \frac{\ell(100 - q)}{100} m, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\ell$  – формат снимка.

В полете для обеспечения заданного продольного перекрытия измеряют не базис фотографирования, а промежуток времени, за который самолет пролетит расстояние, равное базису фотографирования. Этот промежуток называют интервалом фотографирования и определяют по формуле

$$\tau = \frac{B_x}{W}, \quad (5)$$

где  $W$  – путевая скорость самолета.

Число аэроснимков в маршруте и число маршрутов находят по формулам

$$\begin{aligned} n_{сн} &= \frac{D_x}{B_x} + 1, \\ n_m &= \frac{D_y}{B_y} + 3, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $D_x$  – длина аэросъемочного участка;  $D_y$  – ширина участка аэросъемки; 1 и 3 – зарамочное обеспечение снимками.

## 2. Геометрические свойства одиночного аэроснимка

В процессе аэросъемки получают плановые аэроснимки, т.е. аэроснимки, углы наклона которых не превышают  $3^\circ$ . Однако даже такой небольшой наклон снимка вызывает искажения изображений, что приводит к изменению масштаба снимка. Масштаб на наклонном снимке не является величиной постоянной и изменяется при переходе от одной точки аэроснимка к другой.

Изображения точек на плановых аэроснимках смещены по направлению к точке нулевых искажений, следовательно, углы в точке нулевых искажений равны соответствующим углам на местности. Если же провести направления из любой другой точки снимка, то углы на снимке не будут равны соответствующим углам на местности.

К искажениям направлений, вызванных углом наклона снимка, добавляются и искажения, вызванные рельефом местности. Точки под влиянием рельефа местности тоже смещаются на изображении, что также приводит к изменению масштаба, но эти искажения направлены не к точке нулевых искажений, а к точке надира снимка.

Направления, проведенные из точки надира, не искажаются под влиянием рельефа местности, но искажаются при наличии угла наклона снимка. Направления, проведенные из точки нулевых искажений, не искажаются из-за угла наклона снимка, но меняются с изменением превышений сфотографированных точек местности. Искажения направлений могут достигнуть значительных величин.

На горизонтальном снимке главная точка, точки надира и нулевых искажений совпадают. На плановых аэроснимках точки надира и нулевых искажений расположены рядом с главной. Если на плановых аэроснимках вершину направлений выбрать как можно ближе к точкам надира и нулевых искажений, то погрешности направлений будут незначительными.

Найти точки надира и нулевых искажений на аэроснимке затруднительно, так как угол наклона снимка, как правило, неизвестен. При выполнении ряда фотограмметрических работ, например, при построении сетей графической фототриангуляции, направления проводят из контурной точки, расположенной около главной точки снимка. В этом случае искажения направлений будут незначительны. Чтобы погрешности направлений не превысили заданной величины, необходимо найти зону допустимых искажений. Для определения границ зоны пользуются формулой

$$r = 1/2 \left( \frac{2f|\sigma_\alpha|_{\max}}{\rho \sin \alpha} - \frac{\rho \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2|\sigma_\alpha|_{\max}} \right), \quad (7)$$

где  $f$  – величина фокусного расстояния АФА;

$\alpha$  – угол наклона снимка;

$|\sigma_\alpha|_{\max}$  – допустимая величина искажения направления;

$r$  – радиус окружности, описанной около главной точки снимка, в пределах которой направления, проведенные из любой точки, не будут искажены более чем на величину  $|\sigma_\alpha|_{\max}$ ;

$\rho$  – радианная мера угла.

Величину искажения направления, вызванного рельефом местности, можно рассчитать по формуле

$$|\sigma_h| = \rho \frac{rh}{H_\phi d}, \quad (8)$$

где  $H_\phi$  – высота фотографирования;

$h$  – превышение точки местности, на которую взято направление, относительно вершины направления;

$d$  – расстояние между точками (при формате аэроснимка 18×18 см  $d = 80$  мм).

### 3. Трансформирование

Смещения контурных точек, вызванные наклоном снимка, можно устранить в результате трансформирования аэроснимков. Одним из способов трансформирования является фотомеханический. В этом случае трансформирование выполняется на специальных фотограмметрических

приборах, называемых фототрансформаторами, и изображение фиксируется на фотобумаге.

Для того чтобы выполнить трансформирование, в кассету прибора закладывают негатив с наколотыми на нем опорными точками и посредством поступательных движений объектива и кассеты, а также наклонами объектива и экрана относительно своих горизонтальных осей и перемещением основы, расположенной на экране прибора, добиваются совмещения опорных точек негатива с соответствующими точками основы. Однако для получения геометрически правильного трансформированного изображения в заданном масштабе необходимо выполнить геометрические условия трансформирования, а для получения резкого изображения на экране – оптические.

#### **4. Дешифрирование**

Дешифрированием называется процесс изучения изображений аэроснимков для обнаружения, опознания и раскрытия содержания имеющихся в натуре различных объектов местности, подлежащих отображению на топографической карте. Качество составляемой карты во многом зависит от того, насколько технически грамотно будет выполнено дешифрирование. При дешифрировании необходимо из аэрофотоснимка извлечь как можно больше полезной информации. Снимки поэтому должны обладать хорошим фотографическим качеством, большой информативной емкостью и высокой разрешающей способностью.

Для распознавания объектов используют их характерные черты и особенности, которые называют признаками дешифрирования. Признаки дешифрирования разделяют на прямые и косвенные. К прямым признакам относятся: форма, размеры, тон, структура и тень объектов. К косвенным признакам относят существующие в природе и отразившиеся на снимках взаимосвязи различных объектов и явлений. По косвенным признакам находят неизобразившиеся на аэроснимке объекты. Например, брод можно определить по расширению реки, если к реке с обеих сторон подходит дорога.

В настоящее время применяют полевое и камеральное, аэровизуальное и комбинированное дешифрирование. При выборе метода дешифрирования исходят из способа создания топографической карты, ее масштаба, характера и изученности района.

#### **5. Геометрические свойства пары снимков**

Один аэроснимок не позволяет определить пространственное положение точек местности. Если получить два аэроснимка из разных точек пространства и при этом выполнить определенные условия (см. тему 6

курса лекций), то, рассматривая один аэроснимок левым глазом, а другой – правым, наблюдается пространственное расположение заснятого участка местности. Однако, чтобы построить модель местности, необходимо расположить снимки так, как они находились один относительно другого в момент фотографирования. Взаимное положение снимков определяется элементами взаимного ориентирования. Эти элементы задаются либо в базисной системе координат, либо в системе координат левого снимка.

Так как для топографических целей используются только плановые аэроснимки, углы наклона которых не превышают  $3^\circ$ , то достаточно знать уравнения взаимного ориентирования с учетом только членов первого порядка малости. В этом случае уравнение для базисной системы координат будет иметь вид

$$\frac{y_n x_l}{f} \alpha_l - \frac{y_l x_n}{f} \alpha_n - \left( f + \frac{y_n y_l}{f} \right) \omega_n + x_l \chi_l - x_n \chi_n + q = 0, \quad (9)$$

а для системы координат левого снимка

$$\frac{y_l x_n}{f} \Delta \alpha + \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \Delta \omega + x_n \Delta \chi + b_y + \frac{y_l}{f} b_z - q = 0. \quad (10)$$

Для определения элементов взаимного ориентирования необходимо на стереокомпараторе измерить координаты и поперечные параллаксы не менее пяти точек, подставить измерения в уравнение (9) или (10) и решить полученную систему. Решение можно упростить, если точки для измерения поперечных параллаксов выбрать таким образом, чтобы  $x_l$ ,  $x_n$ ,  $y_l$ ,  $y_n$  были равны нулю.

Координаты и параллаксы точек на стереокомпараторе измеряют в системе координат прибора, в уравнениях (9) и (10) координаты  $x$ ,  $y$  и поперечные параллаксы должны быть представлены в системе координат снимка; чтобы найти их, необходимо знать места нулей ( $MO$ ) шкал стереокомпаратора.

Место нуля шкалы поперечных параллаксов  $MO = 10,00$  мм. Для определения поперечных параллаксов необходимо от отсчета по шкале поперечных параллаксов отнять  $MO_q$ .

### **Задание 1**

Произвести аэрофотосъемочный расчет: определить высоту фотографирования  $H_\phi$ , относительную высоту полета самолета  $H_o$ , продольное  $P$  и поперечное  $q$  перекрытия, количество маршрутов  $N_m$  и аэроснимков  $N$ , интервал фотографирования  $\tau$ . Аэрофотосъемка участка местности размерами  $D_x$  (по параллели) и  $D_y$  (по меридиану) должна быть выполнена аэрофо-



тоаппаратом с фокусным расстоянием  $f$  в масштабе  $1/m$ . Минимальное продольное перекрытие  $P_0 = 56 \%$ , поперечное  $q_0 = 15 \%$ . Формат аэроснимка  $18 \times 18$  см. Минимальная отметка снимаемого участка  $A_{\min} = (1037 - 5N)$  м, максимальная  $A_{\max} = (1037 + 5N)$  м, где  $N$  соответствует двум последним цифрам индивидуального шифра. Отметка аэродрома  $A_{\text{аэп}} = 950$  м. Путевая скорость самолета  $W$  выбирается согласно двум последним цифрам шифра, остальные данные – по последней цифре шифра из табл. 2

Таблица 2

Вариант	$D_x$ , км	$D_y$ , км	$m$	$f$ , мм	Вариант	$W$ , км/ч
1	30	34	7000	350	00÷09	180
2	28	35	7500	200	10÷19	200
3	34	36	12000	115	20÷29	190
4	32	37	14000	70	30÷39	220
5	50	70	24000	210	40÷49	235
6	36	38	16000	140	50÷59	210
7	24	33	6000	350	60÷69	230
8	60	74	28000	100	70÷79	240
9	72	75	8000	300	80÷89	195
0	68	76	29000	55	90÷99	250

Примечание. Аэрофотосъемка должна быть выполнена при использовании гиросtabilизирующей установки.

Объяснить, почему продольное перекрытие не должно быть меньше 56 %.

Привести схему аэрофотоаппарата.

### Задание 2

Определить зону допустимых искажений направлений, обусловленных наклоном снимка, и величину максимального искажения направления, вызванного рельефом местности.

Исходные данные выбираются по двум последним цифрам шифра из табл. 3.

Таблица 3

Вариант	$\alpha$ , °	$ \sigma_\alpha _{\max}$ , ′	$f$ , мм	$H_\phi$ , м	$h$ , м	$d$ , мм
01÷10	1	2	65+N	800+5N	30+5N	70
11÷20	2	3	80+N	1000+3N	10+3N	80
21÷30	3	4	110+N	900+2N	10+2N	70
31÷40	4	5	65+N	1700+N	10+N	80

Примечание: в таблице  $\alpha$  – угол наклона снимка;  $|\sigma_{\alpha}|_{\max}'$  – допустимое на снимке искажение направления;  $f$  – фокусное расстояние АФА;  $H_{\phi}$  – высота фотографирования;  $h_{\max}$  – максимальное превышение точек местности;  $d$  – расстояние между точками на снимке;  $N$  соответствует двум последним цифрам шифра.

Объяснить:

1. Какие Вы знаете точки центральной проекции? Показать их на чертеже.

2. Назначение элементов внутреннего и внешнего ориентирования. Дать определение каждому элементу.

3. Имеются ли смещения в главной точке аэроснимка из-за наклона снимка и рельефа местности?

4. Свойства точек нулевых искажений и надира.

5. Для каких целей строятся сети графической фототриангуляции?

6. Основные этапы построения сети графической фототриангуляции.

### Задание 3

При трансформировании аэроснимков, полученных аэрофотоаппаратом с фокусным расстоянием  $f$ , на фототрансформаторе с фокусным расстоянием  $F = 180$  мм изображение получилось деформированным и нерезким. Объясните причину деформации и нерезкости изображения и подтвердите расчетами. Для этого используйте расстояния между основными точками и плоскостями (рис. 1). Коэффициент трансформирования примите  $k_t = \frac{d_2}{d_1}$ ; величину угла наклона аэроснимка вычислите на основании

выражения  $\alpha = \frac{f}{F} \varphi_E$ . Исходные данные выбираются по последней цифре шифра из табл. 4, число  $N$  соответствует двум последним цифрам шифра,  $M$  – знаменатель масштаба создаваемой карты.

Таблица 4

Вариант	$f$ , мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$\varphi_p, ^\circ$	$\varphi_E, ^\circ$	$M$	$SI$ , см	$IV$ , см	$H_{\phi}$ , м
0	70+N	375	440-N	1	5	25000	200	500	4500
1	90+N	365	435-N	2	4	25000	250	400	4000
2	100+N	355	410-N	3	3	25000	300	350	3000
3	140+N	345	320-N	4	2	10000	500	800	2500
4	180+N	335	450-N	5	3	10000	350	450	2500
5	200+N	325	445-N	1	2	5000	500	900	2000
6	300+N	415	435-N	2	3	1000	300	1600	1500
7	250+N	305	425-N	3	5	2000	200	800	2000
8	150+N	295	515-N	4	4	25000	300	200	3500
9	130+N	290	252-N	5	5	25000	250	150	3000

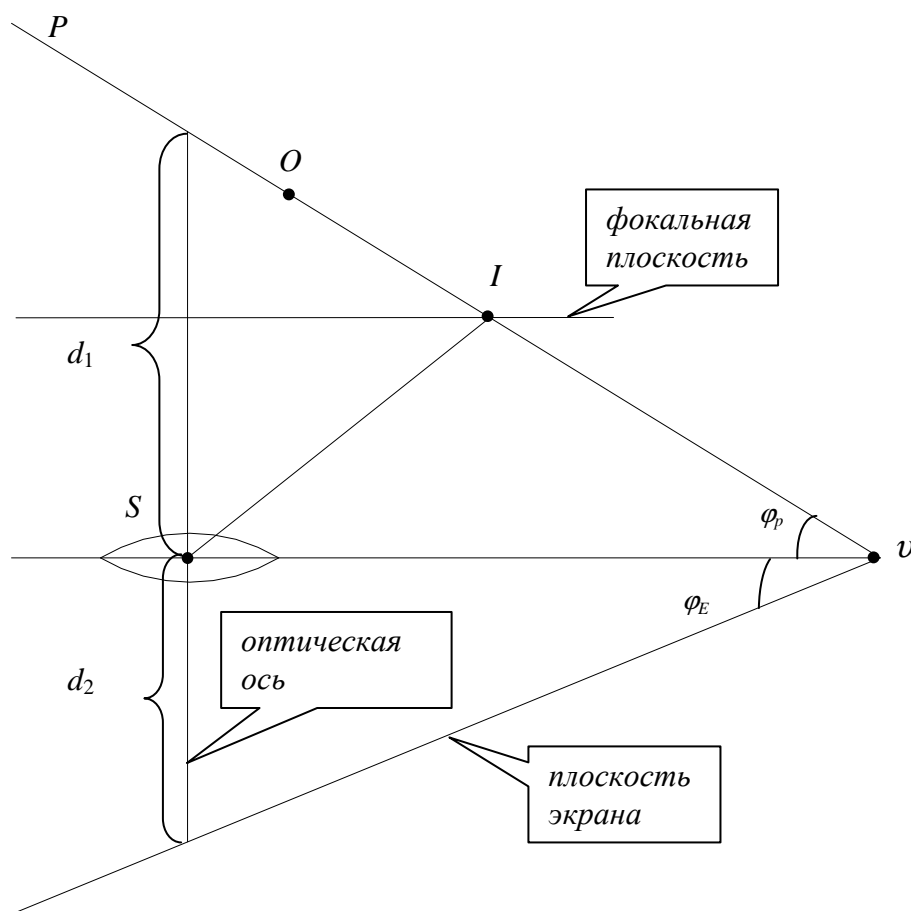


Рис. 1

Объяснить:

1. Какова методика трансформирования?
2. В каком случае выполняют трансформирование по зонам?
3. Для чего на трансформаторах устанавливают инверсоры?
4. Что такое фотоплан?

#### Задание 4

Выполнить камеральное дешифрирование топографических объектов местности, изобразившихся на аэроснимке. Отдешифрованные объекты вычертить тушью в условных знаках масштаба 1:10 000. Перенести на восковку (кальку) границы контуров и подписать порядковый номер контура. Однотипным контурам придать одинаковые номера. Составить ведомость дешифрирования, в которой дать номер и название объекта, указать дешифровочные признаки, по которым был отдешифрован данный объект, и привести номер условного знака по ведомости.

Объяснить:

1. Как можно на аэроснимке определить породу деревьев?
2. Как определить высоту сооружений?

### Задание 5

По измеренным на стереокомпараторе поперечным параллаксам шести стандартно расположенных точек стереопары (см. рис. 41, стр. 128) определить элементы взаимного ориентирования аэроснимков.

Исходные данные выбрать из табл. 5 по последней цифре, а из табл. 6 – по двум последним цифрам шифра.

Таблица 5

Вариант № точек	Отсчеты по шкале поперечных параллаксов, мм									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
2	9,80	9,10	10,55	11,16	11,30	10,10	10,48	10,08	10,40	10,08
4	10,20	9,25	11,65	10,70	10,74	11,06	10,10	11,30	10,86	9,70
6	10,36	8,61	11,13	10,55	11,48	9,68	9,98	9,58	10,31	9,58
1	9,78	9,10	10,54	11,14	11,28	10,10	10,50	10,08	10,39	10,11
3	9,68	9,42	10,93	11,12	11,26	10,52	10,93	11,20	10,78	10,51
5	10,88	8,50	11,81	10,03	10,86	10,26	9,24	9,66	10,32	8,88

Таблица 6

Вариант Данные	00-09	10-19	20-29
$b$ , мм	66	65	64
$y$ , мм	60	65	70
$f$ , мм	100	70	140

К решению задачи дать следующие пояснения:

1. Назначение стереокомпаратора и его схема.
2. Почему при определении элементов взаимного ориентирования поперечные параллаксы измеряют для стандартно расположенных точек?
3. Каков контроль выполненных измерений?
4. Для каких целей используют полученные элементы взаимного ориентирования?

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ СТУДЕНТАМИ 4 КУРСА ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

## 1. Обработка аэроснимков на универсальных приборах

Универсальные приборы – это приборы, на которых решается полный комплекс работ по составлению оригинала карты. Универсальные приборы подразделяются на два класса: с подобными и преобразованными связками проектирующих лучей.

В приборах с подобными связками проектирующих лучей повторяется геометрическая картина съемочного процесса. В них неизменным условием является равенство фокусного расстояния прибора  $F$  фокусному расстоянию камеры аэрофотоаппарата  $f$ . Построенная модель подобна местности.

В приборах с преобразованными связками проектирующих лучей фокусное расстояние прибора  $F$  может быть не равно фокусному расстоянию  $f$  камеры аэрофотоаппарата. Построенная модель деформирована, причем деформируются только высоты точек. Деформации пропорциональны отношению фокусных расстояний прибора и камеры аэрофотоаппарата

$$\frac{F}{f} = k, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент преобразования.

В результате преобразования связок проектирующих лучей вертикальный масштаб построенной модели отличается от горизонтального и его можно определить по формуле

$$M_v = \frac{M_g}{k}, \quad (2)$$

где  $M_v$  – знаменатель вертикального масштаба модели;  $M_g$  – знаменатель горизонтального масштаба модели.

На приборах с преобразованными связками проектирующих лучей можно обрабатывать снимки практически с любым значением фокусного расстояния.

На универсальных стереофотограмметрических приборах можно создавать оригиналы топографических карт (планов) и выполнять фотограмметрическое сгущение сетей геодезического обоснования.

Основными этапами при создании оригинала топографической карты (плана) на универсальных приборах являются:

- 1) подготовительные работы;
- 2) взаимное ориентирование аэроснимков;
- 3) геодезическое (внешнее) ориентирование модели;
- 4) рисовка рельефа и контуров.

### Подготовительные работы

Подготовительные работы заключаются в получении исходных материалов и подготовке приборов и основы к работе.

Местом нуля счетчиков  $\alpha$  и  $\omega$  коррекционных механизмов СПР является отсчет 30,00 мм, СД – 10,00 мм. Местом нуля шкал децентраций снимков  $dx$  и  $dy$  и счетчиков базисных компонент  $b_z$  и  $b_y$  СПР является отсчет 15,00 мм, СД – 10,00 мм.

### Взаимное ориентирование аэроснимков

Взаимное ориентирование на универсальном приборе выполняется путем устранения поперечных параллаксов на стандартно расположенных точках, желательное местоположение которых показано на рис. 1.

Формула связи поперечного параллакса с элементами взаимного ориентирования для приборов подобной связки проектирующих лучей в базисной системе координат имеет вид

$$q = -\frac{x_l y_n}{f} \alpha_l + \frac{x_n y_l}{f} \alpha_n + \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \omega_n - x_l \chi_l + x_n \chi_n, \quad (3)$$

а для системы координат левого снимка

$$q = \frac{x_n y_l}{f} \Delta \alpha + \left( f + \frac{y_l y_n}{f} \right) \Delta \omega + x_n \Delta \chi + \frac{y}{f} b_z + b_y, \quad (4)$$

где  $\alpha_l, \chi_l, \alpha_n, \omega_n, \chi_n$  – элементы взаимного ориентирования в базисной системе координат;  $\Delta \alpha, \Delta \omega, \Delta \chi, b_y, b_z$  – элементы взаимного ориентирования в системе координат левого снимка;  $x_l, x_n, y_l, y_n$  – координаты точек левого и правого снимков.

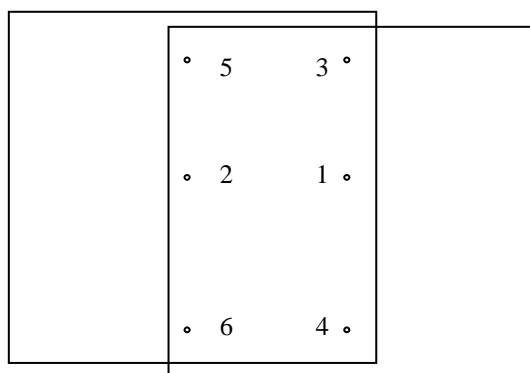


Рис. 1

Формула связи поперечного параллакса  $q$  с элементами взаимного ориентирования для приборов преобразованной связки проектирующих лучей в базисной системе координат имеет вид

$$q = -\frac{x_l y_n}{f} \alpha_l + \frac{x_n y_l}{f} \alpha_n + \left( \frac{y_l y_n}{f} \right) \omega_n - x_l \chi_l + x_n \chi_n, \quad (5)$$

а в системе координат левого снимка

$$q = \frac{x_n y_l}{f} \Delta\alpha + \left( \frac{y_l y_n}{f} \right) \Delta\omega + x_n \Delta\chi + \frac{y}{f} b_z + b_y. \quad (6)$$

Как видим из выражений (3), (4), (5) и (6), величина поперечного параллакса, вызываемого тем или иным элементом взаимного ориентирования, зависит от координат точки на левом и правом снимках.

При выборе стандартных точек для устранения поперечных параллаксов и рабочих движений на них необходимо исходить из двух требований действие данного движения должно быть максимальным и последующие движения не должны влиять на установку предыдущих. Анализируя выражения (5) и (6), можно заключить, что номера точек (см. рис. 1) указывают порядок обхода при устранении поперечных параллаксов. Студентам предлагалось обосновать, каковы должны быть рабочие движения на той или другой точке при ориентировании снимков в базисной системе координат и в системе координат левого снимка. Сделать это необходимо на основе анализа уравнений (5) и (6).

Взаимное ориентирование выполняется методом последовательных приближений. Отсутствие поперечных параллаксов в любой точке модели является критерием правильности взаимного ориентирования.

Сравнивая выражения (5) и (6) с выражениями (3) и (4), можно заметить, что в формулах (5) и (6) отсутствует член  $f\omega_n$  или  $f\Delta\omega$ . Это объясняется конструктивными особенностями приборов с преобразованными связками проектирующих лучей. Снимки при взаимном ориентировании на этих приборах не устанавливаются во взаимное положение, которое было при съемке, а координаты точек трансформируются особыми коррекционными устройствами и по трансформированным координатам строится фотограмметрическая засечка. Члены формул (5) и (6)  $f\omega_n$  или  $f\Delta\omega$  учитываются путем введения децентраций снимков.

При работе на стереопроекторе (СПР) децентрации вводят на основании отсчетов  $v_\alpha$  и  $v_\omega$ , снятых со шкал коррекционных механизмов прибора. Величины децентраций аэроснимков определяют по формулам

$$dx = c\alpha_1, \quad dy = c\omega_1, \quad (7)$$

где  $c = \frac{f^2}{d^2}$ ;  $\alpha_1 = v_\alpha - MO_\alpha$ ;  $\omega_1 = v_\omega - MO_\omega$ ;  $d$  – постоянная коррекционного механизма ( $d = 180$  мм).

Децентрации аэроснимков можно также рассчитать, если известны продольный  $\alpha$  и поперечный  $\omega$  углы наклона снимка.

$$dx = f \frac{\alpha}{\rho}, \quad dy = f \frac{\omega}{\rho}, \quad (8)$$

где  $\rho = 3438'$ .

Углы наклона аэроснимка можно получить на основании отсчетов  $\alpha_1, \omega_1$  при условии, что снимки были сориентированы не только взаимно, но и внешне, используя формулы

$$\alpha = c_1 \alpha_1, \quad \omega = c_1 \omega_1, \quad (9)$$

где  $c_1 = \frac{f\rho}{d^2}$ .

Для контроля предлагается вычислить децентрации снимков обоими способами, вычисления выполнять до сотых долей миллиметра.

При работе на стереограффе Дробышева (СД) величины децентраций аэроснимков рассчитываются по формулам

$$dx = f^2 \frac{\alpha_1}{90F}, \quad dy = f^2 \frac{\omega_1}{80F}, \quad (10)$$

где  $\alpha_1 = \nu_\alpha - MO_\alpha$ ;  $\omega_1 = \nu_\omega - MO_\omega$ ;  $F$  – фокусное расстояние стереографа ( $F = 130,00$  мм).

Величины углов наклона аэрофотоснимков определяют на основании зависимостей

$$\alpha = c_\alpha \alpha_1, \quad \omega = c_\omega \omega_1, \quad (11)$$

где  $c_\alpha = \frac{f\rho}{90F}$ ;  $c_\omega = \frac{f\rho}{80F}$ .

По определенным углам наклона снимка вычислить вторично величины децентраций по формулам (8).

### 1.3. Геодезическое (внешнее) ориентирование модели

В результате взаимного ориентирования аэроснимков получают геометрическую модель местности, которая имеет произвольный масштаб и произвольно ориентирована в координатной системе прибора. Для последующей фотограмметрической обработки модели необходимо привести ее к заданному масштабу и повернуть относительно координатных осей прибора. Этот процесс называется геодезическим или внешним ориентированием модели и складывается из двух этапов:

- масштабирование модели;
- горизонтирование модели.

#### *Масштабирование*

Масштабирование может быть выполнено аналитическим, графоаналитическим способами или способом последовательных приближений.



Аналитический способ применяют в том случае, когда имеется каталог координат опорных точек.

На производстве часто опорные точки нанесены на основу в заданном масштабе. В этом случае можно применять графоаналитический способ масштабирования.

Для введения поправок в базисные компоненты на экран прибора помещают основу, измерительную марку наводят на одну из опорных точек и под острие карандаша подводят эту точку основы. Затем визируют на вторую опорную точку, разворачивают планшет так, чтобы карандаш был на линии 1-2 (см. рис. 62, с. 153) и накалывают точку 2'.

Измеряют отрезки  $\ell$  и  $\ell'$  и по формулам (12) вычисляют поправки в базисные компоненты:

$$\Delta b_x = b'_x \frac{\Delta \ell}{\ell'}, \quad \Delta b_y = b'_y \frac{\Delta \ell}{\ell'}, \quad \Delta b_z = b'_z \frac{\Delta \ell}{\ell'}. \quad (12)$$

Этот способ можно использовать только при обработке плановых снимков и незначительных превышениях точек местности. В противном случае масштабирование и поворот модели необходимо выполнять в несколько приближений.

### *Горизонтирование*

На этом этапе модель, приведенную к заданному масштабу, поворачивают в положение, при котором оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  прибора совпадают с заданной системой координат.

Горизонтирование модели может быть выполнено двумя методами:

1. По установочным элементам.
2. Методом последовательных приближений.

Установочные элементы могут быть получены из результатов пространственного фототриангулирования, аналитическим или графоаналитическим способами.

Аналитический метод требует наличия опорных точек. Из-за громоздкости вычислений употребляется редко.

Графоаналитический способ выгодно использовать, когда опорные точки расположены произвольно на площади стереопары.

Метод последовательных приближений наиболее эффективно использовать, когда точки расположены попарно параллельно осям координат (см. рис. 64, с. 155).

При визировании на точку 1 установим ее отметку, равную геодезической. Обнаруженные расхождения высот на второй точке устраняют только наполовину поворотом модели в поперечном направлении, синхронно вращая винты  $\omega$  левого и правого снимков, а расхождения высот на

третьей точке полностью устраняют поворотом модели в продольном направлении, синхронно вращая винты  $\alpha_n$  и  $\alpha_n$ . Возникшие при этом поперечные параллаксы устраняют движением  $b_z$ .

#### **1.4. Рисовка горизонталей и контуров**

После завершения внешнего ориентирования приступают к рисовке горизонталей и контуров. Работу начинают с нанесения элементов гидрографии. Для этого обводят контур измерительной маркой так, чтобы марка касалась его. Для проведения горизонталей на счетчике высот устанавливается его отметка. Наблюдая модель местности, трассируют измерительную марку по поверхности модели. Карандаш вычертит горизонталь на планшете. Контурная часть плана составляется в последнюю очередь.

### **2. Построение сетей пространственной фототриангуляции**

При обработке снимков на фотограмметрических приборах необходимы опорные точки, плановое положение которых и высоты можно получить путем построения сетей пространственной фототриангуляции. Сущность пространственной фототриангуляции состоит в построении модели местности по снимкам и ориентировании ее по геодезическим точкам.

В зависимости от применяемых технических средств различают аналоговую фототриангуляцию и аналитическую.

При аналоговой фототриангуляции сети строят на универсальных стереофотограмметрических приборах.

В аналитической фототриангуляции координаты определяемых точек вычисляют по измеренным на стереокомпараторе координатам и параллаксам точек снимков, используя формулы связи координат точек снимков и местности.

#### **2.1. Построение сетей на универсальных приборах**

Для построения сетей пространственной фототриангуляции можно использовать любые универсальные приборы: стереопроекторы, стереографы, автографы и т.д.

Основными этапами при пространственной фототриангуляции являются:

- подготовительные работы;
- построение и измерение первой модели;
- построение и измерение последующих моделей;
- обработка результатов построений.

### *Подготовительные работы*

На этом этапе изготавливают диапозитивы, составляют проект построения сети, выполняют поверки приборов, подготавливают основу.

### *Построение и измерение первой модели*

Для построения первой модели первый снимок маршрута закладывают в левый снимкодержатель, второй – в правый. Перед этим снимки тщательно центрируют в кассетах. Затем производят взаимное ориентирование аэроснимков начального звена. После взаимного ориентирования выполняют масштабирование и горизонтирование начального звена.

Выполнив геодезическое ориентирование, измеряют координаты и высоты точек модели, для чего наводят измерительную марку последовательно на все запроектированные точки и записывают в журнал измерений отсчеты по счетчику высот. Плановое положение точек отмечают наколом на основе, помещенной на экране прибора.

В зоне тройного перекрытия выбирают связующие точки для передачи масштаба к следующему звену. Закончив измерения связующих точек, определяют величины, необходимые для ориентирования по  $\chi$  второго снимка, а именно, разности координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  для верхней и нижней координатных меток.

### *Построение и измерение последующих моделей*

После измерения первой модели в левом снимкодержателе вместо первого аэроснимка тщательно центрируют третий. Снимают правый снимкодержатель со вторым аэроснимком и переносят его на левую каретку снимка прибора. На шкалах коррекционных механизмов и децентраций устанавливают отсчеты, полученные для этого снимка в первой модели.

Выполняют ориентирование по  $\chi$  левого аэроснимка второго звена таким образом, чтобы разности координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  для верхней и нижней координатных меток были равны разностям, снятым со счетчиков при обработке первой модели, вращая винт  $\chi$  левого снимка. Выполняют взаимное ориентирование в системе координат левого снимка. Вводят децентрации и повторяют взаимное ориентирование.

Вторую модель приводят к масштабу первой по связующим точкам путем изменения установочных величин базисных компонент таким образом, чтобы отметки связующих точек во второй модели были равны отметкам этих же точек, полученным в первой модели.

Берут отсчеты на все запроектированные точки. Действия при построении последующих моделей аналогичны описанным.

### Обработка результатов построений

После построения сети необходимо проверить, соответствует ли масштаб построенной сети заданному, и определить геодезические отметки запроектированных точек. Рассмотрим графоаналитический способ. В процессе построения сети должны быть отнаблюдены не только все запроектированные точки, но и геодезические, которые имеют как плановое положение, так и высоты.

Обработку результатов построения начинают с определения масштаба сети (1:М) по отношению расстояний между опорными точками на сети  $d$  и этими же точками на местности  $D$ .

$$1/M = d/D. \quad (13)$$

Если положение опорных точек задано на основе, то расстояние между точками на местности определяют по расстоянию между этими же точками на основе  $d_{осн}$  и масштабу основы

$$D = d_{осн} M_{осн}. \quad (14)$$

Если масштаб сети не равен заданному, то сеть редуцируют. Все отсчеты по шкале высот умножают на знаменатель масштаба сети, в результате чего получают фотограмметрические отметки всех отнаблюденных точек, которые не всегда равны геодезическим. Расхождение фотограмметрических и геодезических отметок вызвано погрешностями горизонтирования и деформацией сети. Деформация сети происходит под влиянием различных ошибок: прибора, наблюдателя, и т.д. Поэтому при определении геодезических высот необходимо в фотограмметрические отметки всех точек ввести поправки. Для определения поправок строят специальные графики, для чего надо иметь опорные точки. Число геодезических точек должно быть не менее пяти, расположенных по определяемой схеме: две – в начале сети, две – в конце и одна – в середине (см. рис. 69, с. 160).

Закон накопления ошибок в построенной сети подчиняется выражению

$$\delta h_{\Sigma} = AX + BY + CXY + DX^2, \quad (15)$$

где  $A, B, C, D$  – коэффициенты;  $\delta h_{\Sigma}$  – расхождения геодезических  $A_z$  и фотограмметрических  $A_{\phi}$  отметок ( $\delta h_{\Sigma} = A_z - A_{\phi}$ ).

На производстве для определения поправок в фотограмметрические отметки используют графоаналитический способ, основанный на построении графиков. Графики строят на основе анализа зависимости (15).

Два первых члена выражения (15) показывают наклон фотограмметрической плоскости относительно геодезической, который вызван погрешностями горизонтирования. Для построения графика горизонтирования,

который определяется формулой  $\delta h_{\text{гор}} = AX + BY$ , достаточно иметь три геодезические точки (I, II, III). Поверхность  $\delta h_{\text{гор}}$  линейна, поэтому можно проводить линейную интерполяцию по любым направлениям.

Расхождения геодезических и фотограмметрических отметок на точках I, II, III считают высотами фотограмметрической плоскости  $XU$  относительно геодезической. Полученные расхождения интерполируют по сторонам I – II, I – III, II – III.

Соединив точки с одинаковыми отметками, получим график поправок, представляющий собой прямые линии, параллельные между собой и проведенные через равные промежутки (см. рис. 70, с. 162). Если линии графика не охватывают все запроектированные точки, то, используя это свойство, продолжают проводить линии графика через определенный интервал, пока они не охватят все точки. Пользуясь графиком, вводят поправки во все точки.

#### *Построение графика кручения*

Кручение определяется следующим уравнением:

$$\delta h_{\text{кр}} = CXU. \quad (16)$$

Если предположить, что существует только кручение, то поверхность искажения  $CXU$  является гиперболоидом. Она обладает тем свойством, что линейна вдоль направлений осей  $X$  и  $U$  и линий, параллельных этим осям. Это свойство поверхности позволяет построить линии одинаковых поправок путем интерполирования расхождений геодезических и фотограмметрических высот на опорных точках. Интерполирование проводят вдоль линий, параллельных осям  $X$  и  $U$ .

Для построения графика используют точку IV. Влияние погрешности горизонтирования на этой точке исключено построением графика горизонтирования и введением соответствующей поправки. Влияние прогиба отсутствует, что следует из анализа выражения (15). Следовательно, расхождение геодезической и фотограмметрической отметки этой точки вызвано только кручением.

Приняв линию I – III за ось  $X$  (см. рис. 71, с. 163), а линию I – II за ось  $U$ , будем иметь на этих линиях поправки, равные нулю. Интерполируем невязку на точке IV по линиям I – IV и III – IV. В результате найдем выходы кривых поправок (гипербол). Для определения других точек кривых через точки выхода гипербол на линии I – IV проведем прямые, параллельные оси  $U$ . Интерполируя невязки вдоль этих прямых, найдем еще ряд точек. Соединив одноименные точки плавными кривыми, получим график поправок за кручение модели.

После построения графика вводят поправки за кручение во все точки сети.

### Построение графика прогиба

График прогиба строится по точке, находящейся в середине сети. Предварительно во все геодезические точки необходимо ввести поправки за горизонтирование и кручение.

Прогиб определяется зависимостью

$$\delta h_{кр} = DX^2 = DX_i(L - X_i), \quad (17)$$

где  $D$  – коэффициент;  $L$  – расстояние между точками II-III.

Поверхность искажений, представленная формулой (17), является параболическим сводом, концы которого опираются на линии I-II и III-IV. График будет представлять собой семейство линий, отражающих сечение параболического свода плоскостями, параллельными геодезическому горизонту и проведенными через равные интервалы. Чтобы построить линии поправок, воспроизводят профиль параболического свода. Для этого проведем линию  $AB$ , параллельную оси  $X$  (см. рис. 72, с. 164).

В точках  $A$ ,  $B$  и на всей линии  $AB$  прогиб равен нулю. В точке  $V$  прогиб равен

$$\delta h_{np(V)} = Dx_V(L - x_V) = -5 \text{ м}, \quad (18)$$

т.е.  $\delta h_{np(V)}$  величина известная, вычисляемая как

$$\delta h_{np(V)} = A_z - (A_\phi + \delta h_{зор} + \delta h_{кр}).$$

В формуле (18) неизвестным является только коэффициент  $D$ , который легко найти, решив это выражение относительно  $D$ .

$$D = \frac{\delta h_{np(V)}}{x_V(L - x_V)}. \quad (19)$$

Затем на линии  $AB$  выбирают произвольное число точек, например, через 2 см. Зная абсциссы для выбранных точек, по формуле (17) вычисляют величины искажений, которые откладывают перпендикулярно к линии  $AB$  в одну сторону в произвольно выбранном масштабе. Концы полученных отрезков соединяют, в результате чего должны получить профиль параболического свода.

Для получения линий графика поправок интерполируют линию  $x_V C$  и через полученные интервалы проводят прямые, параллельные  $AB$ . Там, где линии встретят профиль свода, перпендикулярно оси  $X$  проводят прямые, которые и будут являться графиком поправок.

Окончательные значения высот определяемых точек вычисляют по формуле

$$A_z = A_\phi + \delta h_{зор} + \delta h_{кр} + \delta h_{np}. \quad (20)$$

Следует обратить внимание, что отметки определяемых точек будут получены с большей точностью в том случае, когда опорные точки расположены строго по стандартной схеме, на что необходимо обращать внимание при полевой подготовке аэроснимков.

### 3. Наземная стереофотограмметрическая съемка

Наземная стереофотограмметрическая съемка изучает форму, размеры и положение объекта в пространстве по фотоснимкам, полученным с двух точек, расположенных на поверхности земли.

Для фотографирования местности применяют специальную аппаратуру, представляющую собой сочетание фотокамеры и теодолита.

Фотографирование выполняют при разном положении оптической оси фотокамеры, но наибольшее распространение получил нормальный случай съемки, при котором оптические оси горизонтальны и перпендикулярны базису фотографирования.

Формулы для вычисления пространственных фотограмметрических координат  $XYZ$  в этом случае очень просты и имеют следующий вид:

$$X = \frac{B}{P}x, \quad Y = \frac{B}{P}f, \quad Z = \frac{B}{P}z, \quad (21)$$

где  $f$  – фокусное расстояние фотокамеры;  $x, z, p$  – координаты и продольный параллакс точек стереопары;  $B$  – базис фотографирования.

Для перехода от фотограмметрической системы координат к геодезической необходимо знать дирекционный угол оптической оси  $A_0$  и геодезические координаты левого центра фотографирования  $X_s, Y_s, Z_s$ . Эти параметры определяют из результатов полевых работ. Переход от фотограмметрической системы координат к геодезической системе координат осуществляют по формулам:

$$\begin{aligned} X_2 &= X_{S_2} + Y \cos A_0 - X \sin A_0; \\ Y_2 &= Y_{S_2} + X \cos A_0 + Y \sin A_0; \\ Z_2 &= Z_{S_2} + z. \end{aligned} \quad (22)$$

Точность определения пространственных координат в основном зависит от погрешностей измерения продольных параллаксов и ее можно определить как

$$\begin{aligned} m_x &= \frac{Y^2 x}{Bf^2} m_p, \\ m_z &= \frac{Y^2 z}{Bf^2} m_p, \\ m_y &= \frac{Y^2}{Bf} m_p. \end{aligned} \quad (23)$$

Наземная стереофотограмметрическая съемка находит очень широкое применение при решении различных инженерных задач, например, ее с успехом можно использовать при определении объемов земляных работ.

Для определения объемов ведущихся выработок грунта необходимо периодически фотографировать объект с постоянно закрепленных точек, расположенных на некотором расстоянии от объекта.

При изменении конфигураций элементов рельефа изменяются координаты точек на снимках, благодаря чему можно подсчитать объем земляных работ, выполненных за время между двумя фотографированиями.

Рассмотрим определение земляных работ методом горизонтальной сетки. В этом случае используется сетка квадратов, которая восстанавливается на стереокомпараторе по стереопаре наземных снимков с координатами вершин сетки  $P = \frac{f}{Y} B$  и  $x = \frac{P}{B} X$  в зависимости от принятых квадратов на местности.

На стереокомпараторе при заданных координатах  $P$  и  $x$  вершин сетки измеряют аппликату  $z$ , по которой определяют координату  $Z$  местности.

Измеряя стереопару последующей фотосъемки на тех же углах сетки, получим новые значения  $Z'$ . Разность  $Z_i - Z'_i = h_i$  является рабочей отметкой точки. Объем земляных работ  $V$  определится по формуле

Объем земляных работ  $V$  определится по формуле

$$V = Sh_{cp.v.}, \quad (24)$$

где  $S$  – площадь массива,

$$h_{cp.v.} = \frac{[h]_k + 2[h]_\ell + 3[h]_m + 4[h]_n}{k + 2\ell + 3m + 4n}, \quad (25)$$

$[h]_k, [h]_\ell, [h]_m, [h]_n$  – сумма рабочих отметок, входящих в один, два, три и четыре квадрата соответственно;  $k, \ell, m, n$  – число отметок, входящих в один, два, три и четыре квадрата.

Относительная ошибка определения объемов этим способом составляет примерно 1 %.

### **Задание 1**

Аэроснимки, полученные камерой с фокусным расстоянием  $f$ , обрабатывались на универсальном приборе, фокусное расстояние которого равно  $F$ . В результате взаимного и внешнего ориентирования снимков на приборе получена модель, горизонтальный масштаб которой  $1/M_2$ . Отсчеты на шкалах коррекционных механизмов оказались равными  $\nu_{\alpha_\ell}, \nu_{\omega_\ell}, \nu_{\alpha_n}, \nu_{\omega_n}$ . Отсчеты на



шкалах базисных компонент –  $b'_x, b'_y, b'_z$ , расстояние между двумя плановыми опорными точками на модели –  $\ell'$ , а аналогичное расстояние на основе –  $\ell$ .

Определить:

1. Вертикальный масштаб построенной модели.
2. Значения углов наклона, обрабатывавшихся на приборе аэроснимков.
3. Значения децентраций снимков.
4. Правильно ли выполнено масштабирование модели и если нет, то какие поправки необходимо ввести в базисные компоненты прибора.

Пояснить письменно:

1. Дать схему устранения поперечных параллаксов при взаимном ориентировании аэроснимков на СПР (СД). Докажите Ваши утверждения.
2. Зачем нужно вводить децентрации.
3. Нужно ли вводить децентрации на СПР при обработке снимков с фокусным расстоянием  $f = 200$  мм, если на шкале фокусных расстояний СПР установить  $F = 200$  мм.
4. Как можно ввести поправки в базисные компоненты прибора  $b_y$  и  $b_z$  при масштабировании модели после изменения  $b_x$ , не прибегая к расчетам?

Исходные данные выбираются из табл. 1 по двум последним цифрам шифра.  $N$  соответствует последней цифре шифра.

Таблица 1

Вариант Данные	1÷10	11÷20	21÷30
$f$ , мм	$69+N$	$80+N$	$75+N$
$F$ , мм	$180-N$	130	$180+N$
Тип прибора	СПР	СД	СПР
$\nu_{\alpha_l}$ , мм	$27,50+N$	$10,90+0,1N$	$23,40+N$
$\nu_{\omega_l}$ , мм	$19,80+N$	$10,30+0,1N$	$19,30+N$
$\nu_{\alpha_n}$ , мм	$31,20+N$	$8,70+0,1N$	$26,90+N$
$\nu_{\omega_n}$ , мм	$24,70+N$	$9,30+0,1N$	$22,60+N$
$M_z$	5000	2000	10000
$\ell$ , мм	150	170	200
$\ell'$ , мм	$140+N$	$155+N$	$175+N$
$b'_x$ , мм	60	80	70
$b'_y$ , мм	-5	+5	+10
$b'_z$ , мм	+5	-5	-5

### Задание 2

Для геодезического ориентирования и исключения деформаций построенной на универсальном приборе сети фототриангуляции задано пять опорных точек, расположенных, как показано рис. 69, с. 160. Геодезические координаты  $X$ ,  $Y$  и отметки этих точек  $A_z$  представлены в табл. 2. Для этих же точек получены фотограмметрические высоты  $A_\phi$  в результате построения сети фототриангуляции.

Следует определить исправленные отметки определяемых точек сети фототриангуляции, координаты которых и высоты  $A_\phi$  приведены в табл. 3.

Горизонтирование и исключение деформации сети выполнить графоаналитическим способом. Масштаб построения графиков выбрать произвольно.

Примечание.

$N$  соответствует двум последним цифрам шифра. Арабскими цифрами обозначены определяемые точки, римскими – опорные.

Таблица 2

№ точек	$X$ , м	$Y$ , м	$Z$ , м	$A_\phi$ , м
I	0	2000	200	190+N
II	0	0	150	160-N
III	10000	0	170	175
IV	10000	2000	190	180+N
V	5000	2000	160	170-N

Таблица 3

№ точек	$X$ , м	$Y$ , м	$A_\phi$ , м
1	600	500	130+N
2	1200	1000	140+N
3	1800	1500	150+N
4	2500	2000	160+N
5	3000	0	170+N
6	3600	500	180+N
7	4300	1000	190+N
8	5000	1500	200-N
9	6000	1800	180-N
10	7000	1200	170-N

Пояснить:

1. Как выполняется ориентирование и измерение снимков на стереокомпараторе при построении сетей аналитической фототриангуляции?

2. Какие преимущества аналитической пространственной фототриангуляции перед аналоговой?

3. Как рассчитать расстояние между плановыми и высотными опознаками при проектировании сгущения сетей фототриангуляции?

### **Задание 3**

На стереокомпараторе были измерены координаты  $x$ ,  $z$  и продольные параллаксы  $P$  точек по стереопаре наземных снимков нормального случая съемки. Координаты измерены в системе координат стереокомпаратора. Места нулей шкал  $x$ ,  $z$  и  $P$  прибора равны:  $MO_x = MO_z = 100,00$  мм,  $MO_p = 0,00$  мм. Снимки получены фотокамерой с фокусным расстоянием  $f$  с концов базиса фотографирования  $B$ . Геодезические координаты левого центра фотографирования  $X_s, Y_s, Z_s$  и дирекционный угол базиса фотографирования  $A_B$  определены по результатам полевых работ.

1. Определить геодезические координаты трех точек местности.

2. Подсчитать средние квадратические ошибки определения этих координат, приняв точность измерения продольных параллаксов  $0,01$  мм.

3. Нанести по координатам точки на план. Масштаб плана выбрать таким, чтобы максимальная ошибка определения координат не превысила графической точности нанесения точек ( $0,2$  мм). Выбор масштаба подтвердить расчетами.

4. Определить максимальное отстояние  $Y_{\max}$ , чтобы относительная ошибка определения координат не превысила  $1/1000$ , и минимальное отстояние, при котором будет наблюдаться стереоэффект.

Пояснить:

1. Основные случаи фототеодолитной съемки. Приведите их краткую характеристику.

2. Какие системы координат применяют в наземной стереофотограмметрической съемке?

3. Назовите элементы ориентирования пары наземных снимков и объясните значения каждого элемента.

4. Из чего состоит фототеодолитный комплект?

5. Какие существуют способы измерения длины базиса фотографирования?

6. Приведите формулы оценки точности определения пространственных фотограмметрических координат для равномерно отклоненного случая съемки.

Исходные данные выбираются из табл. 4 по двум последним цифрам шифра, а из табл. 5 – по последней цифре шифра.

Таблица 4

Вариант Данные	1÷10	11÷20	21÷30	31÷40
$f$ , мм	190,00	195,00	200,00	210,00
$B$ , м	60	45	50	55
$A_B$	324° 00'	208° 00'	23° 00'	121° 00'
$X_s$ , м	6060438,5	6063931,2	6068425,7	6070264,4
$Y_s$ , м	4328615,1	4333841,6	4357218,3	4381468,9
$Z_s$ , м	309,8	182,4	217,1	234,0

Таблица 5

№ варианта	№ точек	$x$ , мм	$z$ , мм	$P$ , мм	№ варианта	№ точек	$x$ , мм	$z$ , мм	$P$ , мм
1	1	103,78	52,17	12,34	6	1	95,50	109,26	16,15
	2	136,23	121,50	21,25		2	124,13	145,68	24,92
	3	174,30	84,73	17,54		3	137,71	78,15	21,43
2	1	84,31	103,29	18,23	7	1	99,04	51,78	19,72
	2	105,19	57,34	22,67		2	142,92	134,23	22,88
	3	137,52	130,67	13,78		3	153,47	117,84	15,90
3	1	93,45	112,49	21,72	8	1	72,26	146,37	24,12
	2	112,64	136,13	17,97		2	117,85	64,59	20,37
	3	151,96	55,92	25,26		3	160,39	128,14	16,83
4	1	79,07	142,77	22,19	9	1	86,17	139,48	23,59
	2	113,81	68,45	14,02		2	129,62	59,20	14,81
	3	128,26	125,39	18,86		3	148,74	120,67	19,35
5	1	81,15	60,61	15,27	0	1	94,38	96,64	16,26
	2	110,37	107,18	23,76		2	131,10	148,07	23,08
	3	146,54	93,58	20,04		3	158,86	73,83	20,90

#### Задание 4

Для подсчета объемов земляных работ было выполнено дважды фотографирование участка местности, размеры которого 80×80 метров, с двух точек  $S_l$  и  $S_n$ , расстояние между которыми является базисом фотографирования  $B$  (рис. 2). Съемка производилась фотокамерой с фокусным расстоянием  $f$ , расположенной на расстоянии  $Y_{\min}$  от снимаемого участка.

1. Рассчитать координаты  $x$  и  $p$  вершин сетки, если принять размеры квадратов на местности 20×20 м. Для вершин сетки 1, 6, 11, 16, 21 координата  $X = 0$ .

2. Определить рабочие отметки  $h_i$  вершин сетки по измеренным на стереокомпараторе аппликатам  $z'_i$  и  $p_i$  и подсчитать объем выбранного грунта.

3. Перечислить возможные области применений фототеодолитной съемки.

Исходные данные выбираются из табл. 7 по двум последним цифрам шифра. Значения  $z$  вершин сетки, измеренные на стереокомпараторе, выбирается из табл. 8. Значение  $z'_{(мм)} = z - N$ , где  $N$  соответствует двум последним цифрам шифра.

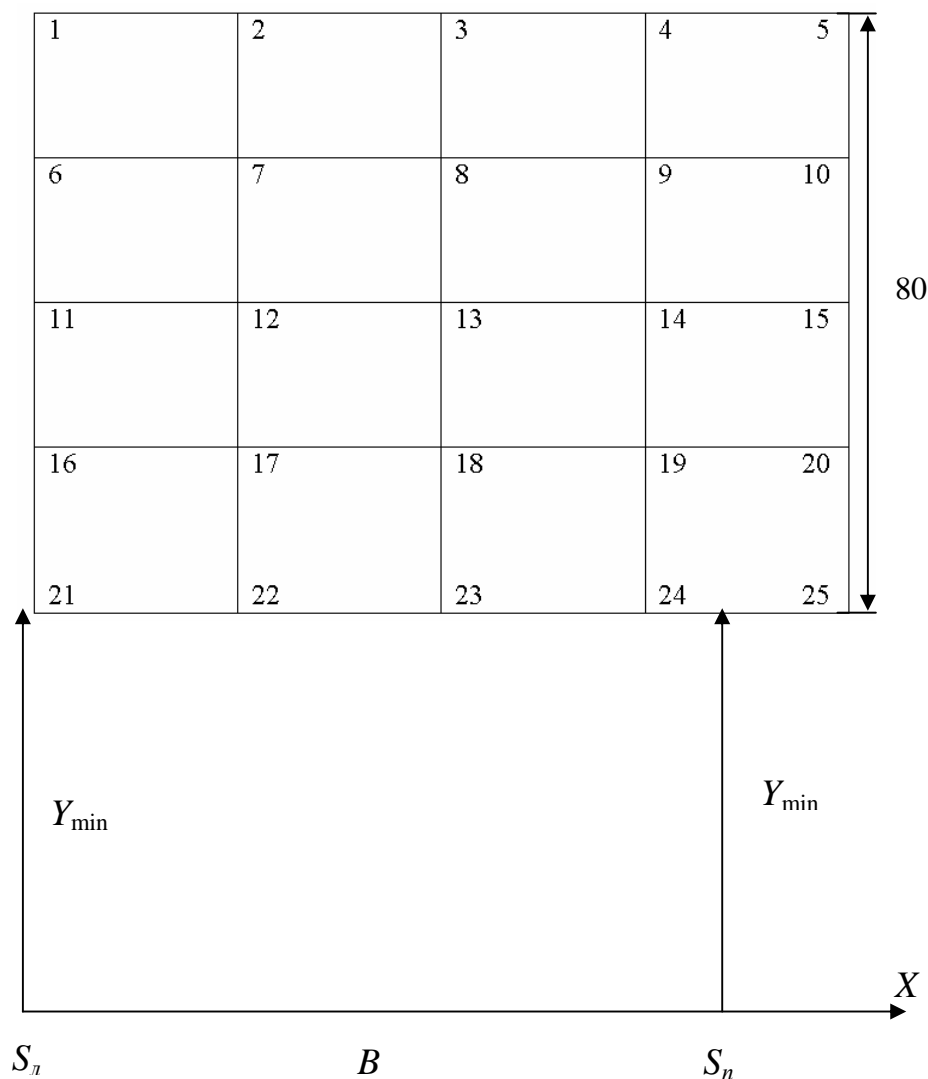


Рис. 2

Таблица 6

Вариант Данные	1-09	10-19	20-29	30-39
$B$ , м	40	45	50	55
$Y_{min}$ , м	180	190	200	240
$f$ , мм	190	195	200	210

Таблица 7

№ точек	$z$ , мм	№ точек	$z$ , мм	№ точек	$z$ , мм	№ точек	$z$ , мм	№ точек	$z$ , мм
1	52,35	6	52,08	11	51,87	16	51,54	21	51,06
2	48,13	7	47,91	12	47,59	17	47,27	22	46,79
3	47,22	8	47,53	13	47,01	18	46,32	23	45,83
4	49,76	9	49,54	14	48,93	19	48,15	24	47,42
5	51,20	10	51,06	15	50,87	20	50,00	25	49,37

## СЛОВАРЬ НОВЫХ ТЕРМИНОВ

**Аэрофотоснимок** (АФС, аэроснимок) – фотографическое изображение земной поверхности, полученное с воздушных летательных аппаратов. Аэрофотоснимки различают: по величине отклонения оптической оси (плановые и перспективные); по типу используемой фотопленки (черно-белые, цветные и спектрзональные). На спектрзональном аэроснимке объекты местности изображаются не в натуральных, присущих им цветах, а в условных.

**Аэрофотосъемка** (аэросъемка) – получение фотографического изображения местности с летательного аппарата.

**Аэрофототопографическая съемка** – вид топографической съемки, выполняемой по аэроснимкам при помощи фотограмметрических приборов.

**Высота фотографирования** – высота полета самолета над средней горизонтальной поверхностью снимаемого района, устанавливаемая в зависимости от заданного масштаба аэрофотосъемки и величины фокусного расстояния аэрофотоаппарата (АФА).

**Данные дистанционного зондирования (ДДЗ)** – данные аэрокосмического зондирования – данные о поверхности Земли, объектах, расположенных на ней или в ее недрах, полученные в процессе съемок любыми неконтактными, т.е. *дистанционными методами*. По сложившейся традиции, к ДДЗ относят данные, полученные с помощью съемочной аппаратуры наземного, воздушного или космического базирования, позволяющей получать изображения в одном или нескольких участках электромагнитного спектра. Характеристики такого изображения зависят от многих природных условий и технических факторов. К природным условиям относят сезон съемки, освещенность снимаемой поверхности, состояние атмосферы и т.д. К основным техническим факторам – тип платформы, несущей съемочную аппаратуру, тип сенсора; метод управления процессом съемки; ориентация оптической оси съемочного аппарата; метод получения изображения. Главные характеристики ДДЗ определяются числом и градациями спектральных диапазонов; геометрическими особенностями получаемого изображения (вид проекции, распределение искажений), его *разрешением*.

**Дешифрирование** – выявление, распознавание и определение характеристик объектов, изобразившихся на фотоснимке местности. Содержанием и задачей дешифрирования является получение определенного объема качественной и количественной информации по данным дистанционно-

го зондирования о состоянии, составе, структуре, размерах, взаимосвязях и динамике процессов, явлений и объектов по дешифровочным признакам.

**Дешифровочные признаки** – характерные особенности природных и антропогенных объектов дешифрирования, проявленные в данных дистанционного зондирования и позволяющие опознать, выделить и проинтерпретировать эти объекты.

**Калибровка аэрофотоснимка** – определение элементов внутреннего ориентирования и геометрических искажений аэрофотоснимка.

**Многозональная съемка** – это съемка земной поверхности с летательных аппаратов одновременно в разных зонах спектра электромагнитных волн.

**Ортофотоснимок** – аэрофотоснимок, на котором устранены искажения, вызванные как наклоном снимка, так и влиянием рельефа местности.

**Ортофотоплан** – фотоплан, составленный на основе ортофотоснимков.

**Приемники GPS** – электронные устройства, принимающие сигналы спутников с целью определения координат точек.

**Растр** – средство цифрового представления изображения в виде матрицы элементов изображения – пикселей.

**Сканер (сканирующее устройство):**

1) устройство аналого-цифрового преобразования изображения для его автоматизированного ввода в ЭВМ в растровом формате с высоким разрешением путем сканирования в отраженном или проходящем свете с непрозрачного и прозрачного оригинала соответственно;

2) устройство, размещаемое на аэро- или космических летательных аппаратах для дистанционных съемок, выполняющее их путем построчного сканирования объекта съемки с регистрацией собственного или отраженного излучения.

**Сканирование** – аналого-цифровое преобразование изображения в цифровую растровую форму с помощью сканера.

**Спутниковое определение местоположения** – определение абсолютных координат или приращений координат с использованием глобальной спутниковой системы определения местоположения (GPS-NAVSTAR, ГЛОНАСС).

**Стереомодель** – пространственная модель объекта дистанционной съемки, полученная по стереопаре, т.е. по двум перекрывающимся изображениям.

**Трансформирование аэрофотоснимка** – преобразование аэрофотоснимка из центральной проекции с одними параметрами в центральную проекцию с другими параметрами.

**Фотограмметрическое сгущение опорной геодезической сети** – определение геодезических координат опорных точек в результате измерений по снимкам.

**Фотограмметрия** – научная дисциплина и область техники, задачей которой является получение метрической, спектральной семантической информации по аэро- и космическим снимкам. Фотограмметрия занимается определением размеров, формы и пространственного положения объектов по результатам измерения их фотографических изображений.

Раздел фотограмметрии, посвященный измерению трехмерных объектов, называется стереофотограмметрией, в которой применяются аналитические (с использованием компьютеров) и аналоговые (с использованием стереофотограмметрических приборов) методы обработки изображений.

**Фотокарта** – полиграфически изданный фотоплан в заданной картографической проекции и разграфке с нанесенной на него картографической нагрузкой (координатные сетки, горизонталы, названия населенных пунктов, водных объектов и др.).

**Фотоплан** – план местности, составленный из трансформированных снимков.

**Фотосхема** – фотографическое изображение местности, составленное путем монтажа нетрансформированных снимков без использования опорных точек.

**Фототриангуляция** – метод определения положения опорных точек путем измерения их координат на аэрофотоснимках фотограмметрическими приборами и последующей математической обработкой результатов этих измерений.

**Цифровая модель рельефа (ЦМР)** – средство цифрового представления трехмерных *пространственных объектов* (поверхностей, рельефов) в виде трехмерных данных как совокупности высотных отметок и иных значений аппликат (координаты  $Z$ ) в узлах *регулярной сети* с образованием матрицы высот, нерегулярной треугольной сети (*TIN*) или как совокупность записей *горизонталей* (изогипс, изобат) или иных изолиний.

Наиболее распространенными способами цифрового представления рельефа является *растровое представление* и особая модель пространственных данных, основанная на сети *TIN* и аппроксимирующая рельеф мно-



гогранной поверхностью с высотными отметками (отметками глубин) в узлах треугольной сети.

Процесс цифрового моделирования рельефа включает создание ЦМР, их обработку и использование. Источниками исходных данных для создания ЦМР суши служат топографические карты, *аэрофотоснимки*, космические снимки и другие *ДДЗ*, данные альтиметрической съемки, *систем спутникового позиционирования*, нивелирования и других методов *геодезии*, материалы фототеодолитной и радиолокационной съемки.

Обработка ЦМР служит для получения производных морфометрических или иных данных, включая вычисление *углов наклона* и *экспозиции* склонов; *анализ видимости/невидимости*; построение трехмерных изображений, профилей поперечного сечения; *интерполяцию* высот; построение *изолиний* по множеству значений высот; цифровое *ортотрансформирование* при *цифровой обработке* изображений и другие вычислительные операции и графо-аналитические построения.

**Цифровая модель местности, ЦММ** (математическая модель местности, МММ) – цифровое представление *пространственных объектов*, соответствующих объектовому составу *топографических карт* и *планов*, используемое для производства *цифровых топографических карт*; множество, элементами которого являются топографо-геодезическая информация о местности и правила обращения с ней.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

### НАКИДНОЙ МОНТАЖ

1. Как монтируют накидной монтаж?
2. Что такое накидной монтаж?
3. Для чего монтируют накидной монтаж?
4. Что называют физическим разрывом?
5. Что называют фотограмметрическим разрывом?
6. Какой минимальный процент продольного перекрытия снимков?
7. Что называют продольным перекрытием снимков?
8. Что называют поперечным перекрытием аэроснимков?
9. Желательный процент поперечного перекрытия снимков?
10. Как измерить продольное (поперечное) перекрытие на накидном монтаже?
11. Можно ли измерить на накидном монтаже базис фотографирования в масштабе аэрофотосъемки?
12. Как определить прогиб маршрута?
13. Что называют «елочкой»?
14. Как измерить угол между базисом фотографирования и стороной снимка?
15. Что такое репродукция накидного монтажа?
16. Для чего изготавливают репродукцию накидного монтажа?
17. Из-за чего возникает угол между базисом фотографирования и стороной снимка?
18. Как изготовить палетку для измерения перекрытий?
19. Какие снимки называют плановыми?

### РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ ЛЕТНО-СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

1. Что называют фокусным расстоянием аэрофотоаппарата (АФА)?
2. Что является высотой фотографирования?
3. Зачем рассчитывают высоту фотографирования?
4. Какие виды высот полета Вы знаете?
5. Как выдержать в полете высоту фотографирования?
6. Какую высоту определяют по барометрическому высотомеру?
7. Какую высоту можно получить по радиовысотомеру?
8. Какие снимки являются плановыми?
9. Что такое перспективные аэроснимки?
10. Что является углом наклона аэроснимка?

11. Что такое продольное и поперечное перекрытия?
12. Какой минимальный процент продольного и поперечного перекрытий?
13. Как рассчитать процент продольного и поперечного перекрытий?
14. Что такое фотограмметрический, физический разрыв?
15. Зачем в горах увеличивают продольное перекрытие?
16. Нужно ли в горах увеличивать поперечное перекрытие?
17. Какие факторы влияют на изменение масштаба снимков?
18. Что называют базисом фотографирования?
19. Что называют расстоянием между маршрутами?
20. Для чего рассчитывают базис фотографирования и расстояние между маршрутами?
21. Что произойдет, если не выдержать расстояние между маршрутами?
22. Что называют интервалом фотографирования?
23. Для чего вычисляют интервал фотографирования?
24. Какой минимальный интервал фотографирования?
25. Что произойдет, если не выдержать интервал фотографирования?
26. Что является циклом работы аэрофотоаппарата?
27. За счет чего может возникнуть смаз изображения?

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ

1. Что такое фокусное расстояние?
2. Как определить фокусное расстояние по снимку?
3. Что такое высота фотографирования?
4. Как определить масштаб снимка?
5. Масштаб снимка – это величина постоянная?
6. По плановым или перспективным снимкам фокусное расстояние определится с большей точностью? почему?
7. Какие снимки являются плановыми?
8. Какие снимки являются перспективными?
9. Что такое плановые (перспективные) снимки?
10. По снимкам равнинного или горного района фокусное расстояние определится с большей точностью? почему?

### ФОТОСХЕМА

1. Что такое фотосхема?
2. Для чего фотосхемы используются?
3. Какие существуют способы монтажа фотосхемы?

4. Как монтируют фотосхему по контурам?
5. Какую фотосхему называют уточненной и почему?
6. Что такое начальное направление?
7. Какую точку называют центральной?
8. Какую точку называют главной?
9. Как оценить точность фотосхемы?
10. Как монтируют фотосхему по начальным направлениям?
11. Как разрезают снимки при монтаже фотосхемы?

## РАБОТА СО СТЕРЕОСКОПОМ

1. Устройство стереоскопа.
2. Каково назначение линз?
3. Каково назначение зеркал?
4. Какие условия необходимо выполнить, чтобы получить стереоэффект?
5. Можно ли получить стереоэффект без стереоскопа и если можно, то как?
6. Как получить стереоэффект, используя стереоскоп?
7. Как получить стереоэффект, если разность масштабов снимков превышает 16 %?
8. Когда находят применение линзовые стереоскопы?
9. Можно ли использовать линзовый стереоскоп для получения стереоэффекта по снимкам формата 18×18 см; 24×24 см; 30×30 см?
10. Можно ли использовать зеркально-линзовый стереоскоп для получения стереоэффекта по снимкам формата 18×18 см; 24×24 см; 30×30 см?
11. Как получить прямой, обратный, нулевой стереоэффект?
12. Что наблюдается при прямом, обратном, нулевом стереоэффекте?
13. Какой из видов стереоэффекта – прямой, обратный или нулевой чаще всего используют?

## ОБРАБОТКА СЕТЕЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ

1. Как определить масштаб построенной сети?
2. Как построить график горизонтирования, кручения, прогиба?
3. Из-за чего сеть деформирована?
4. Что собой представляет график горизонтирования, кручения, прогиба?

5. Почему при построении графиков кручения и прогиба нельзя проводить линейную интерполяцию?
6. Как получить фотограмметрические отметки точек сети?
7. За счет чего возникли ошибки, требующие построения графика горизонтирования?
8. Как получить геодезические отметки включенных в сеть точек?
9. Для какой цели строят сети фототриангуляции?
10. Как устранить деформацию сети аналитическим способом?

## СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛА КАРТЫ НА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

1. Что собой представляют СПР, СД, СЦ?
2. Эти приборы механического или оптического способа засечки?
3. Засечка строится по принципу треугольника или треугольника плюс параллелограмма, почему?
4. Основные части универсальных приборов.
5. Какую задачу решает механизм пространственной засечки?
6. Какую задачу решает коррекционный механизм?
7. Основные процессы, которые необходимо выполнить на универсальном приборе при создании топографических карт и планов.
8. Как выполняют внутреннее ориентирование?
9. Как выполняют взаимное ориентирование?
10. В какой системе координат выполняют взаимное ориентирование?
11. Элементы взаимного ориентирования. Что собой представляет каждый элемент?
12. Какова последовательность устранения поперечных параллаксов при взаимном ориентировании? Почему такая последовательность?
13. Зачем децентрируют снимки?
14. Как рассчитать величины децентраций снимков?
15. Какую точку снимка мы должны наблюдать при отвесном положении рычага механизма пространственной засечки? Как этого добиться?
16. Какую точку снимка мы должны наблюдать при отвесном положении рычага коррекционного механизма? Как это осуществить?
17. Почему СД и СЦ решают задачу менее строго, чем СПР?
18. Какие процессы включает внешнее ориентирование?
19. Как выполняют масштабирование?
20. Как выполнить горизонтирование?
21. Как рисуются ситуация и горизонтالي?
22. Как подобрать шестерни на СПР, СД?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бобир, Н. Я. Фотограмметрия / Н. Я. Бобир, А. Н. Лобанов, Г. Д. Федорук. – М. : Недра, 1974.
2. Кислов, В. В. Фотограмметрия / В. В. Кислов. – М. : Недра, 1979.
3. Лобанов, А. Н. Аэрофототопография / А. Н. Лобанов. – М. : Недра, 1978.
4. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов. – М. : Недра, 1964.
5. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов. – М. : Недра, 1984.
6. Сердюков, В. М. Фотограмметрия в строительстве / В. М. Сердюков. – М. : Недра, 1977.
7. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – Мн. : УП «БЕЛНИЦЗЕМ», 2003.
8. Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (фототеодолитная съемка). – М. : Недра, 1983.
9. Буров, М. И. Практикум по фотограмметрии / М. И. Буров, Б. В. Краснопевцев, А. П. Михайлов. – М. : Недра, 1987.
10. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов, М. И. Буров, Б. В. Краснопевцев. – М. : Недра, 1987.
11. Лобанов, А. Н. Аналитическая фотограмметрия / А. Н. Лобанов. – М. : Недра, 1972.
12. Лобанов, А. Н. Фототриангуляция с применением ЭВМ. – А. Н. Лобанов. – М. : Недра, 1960.
13. Трунин, А. П. Фототеодолитная съемка в крупных масштабах / А. П. Трунин, И. Н. Финаревский, С. В. Чистяков. – М. : Недра, 1970.
14. Кравченко, Ю. А. О технологии получения растровых копий с использованием сканеров малого формата / Ю. А. Кравченко // Материалы ИБ. – 1999. – № 4(21); № 5(22).

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА.....	3
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ .....	9
ЧАСТЬ 1.....	10
1. Введение. Оптические основы центрального проектирования .....	10
2. Аэрофотосъемка .....	25
3. Основы проективной геометрии.....	35
4. Одиночный аэроснимок и его использование.....	41
5. Фотосхемы и фотопланы. Дешифрирование аэроснимков.....	63
ЧАСТЬ 2.....	83
6. Теория пары снимков.....	83
7. Взаимное и внешнее ориентирование снимков .....	111
8. Стереофотограмметрические универсальные приборы .....	136
9. Пространственная фототриангуляция.....	156
10. Методы создания и обновления топографических карт и планов .....	170
ЧАСТЬ 3.....	179
11. Методы цифровой фотограмметрии.....	179
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению курсовой работы «Аэрофототопографический метод создания карт и планов».....	216
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению лабораторных работ студентами дневного отделения.....	242
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению контрольных работ студентами 3 курса заочного отделения.....	283
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению контрольных работ студентами 4 курса заочного отделения.....	293
СЛОВАРЬ НОВЫХ ТЕРМИНОВ .....	310
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ .....	314
ЛИТЕРАТУРА.....	318

*Учебное издание*

ПРИКЛАДНАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ  
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
для студентов специальности 1-56 02 01 «Геодезия»

Составители

МИХЕЕВА Алла Александровна  
ЯЛТЫХОВ Вадим Викторович

Редактор *А. Э. Цибульская*

Дизайн обложки *И. С. Васильевой*

---

Подписано в печать 20.11.06. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 18,56. Уч.-изд. л. 17,28. Тираж 80 экз. Заказ 1385.

---

Издатель и полиграфическое исполнение –  
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29