

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Р. М. Глушкова, В. Н. Анопин, О. И. Карпова

АЭРОГЕОДЕЗИЯ И ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебно-методическое пособие



Волгоград. ВолГАСУ. 2015



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2015



УДК 528.7:625.7/.8(075.8)
ББК 26.131.я73
Г555

Р е ц е н з е н т ы:

доктор технических наук *С. В. Алексиков*,
профессор, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета;
кандидат технических наук *М. В. Катасонов*, доцент кафедры геодезии ВолгГАСУ;
доктор сельскохозяйственных наук *А. С. Овчинников*,
член-корреспондент Российской академии наук, профессор,
заведующий кафедрой прикладной геодезии, природообустройства и водопользования Волгоградского государственного аграрного университета

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебно-методического пособия*

Глушкова, Р. М.

Г555

Аэрогеодезия и прикладная геодезия в транспортном строительстве [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Р. М. Глушкова, В. Н. Анопин, О. И. Карпова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волггр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (8,5 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-98276-786-8

Изложены основы аэрогеодезии и прикладной геодезии в транспортном строительстве. Рассмотрены порядок и технология выполнения аэрогеодезических работ при изысканиях автомобильных дорог. Дано описание особенностей выполнения инженерно-геодезических работ при геодезическом сопровождении дорожного строительства. Детально освещены вопросы геодезического практикума.

Для студентов дневной и заочной форм обучения профилей «Автомобильные дороги», «Автомобильные мосты и тоннели».

Для удобства работы с изданием рекомендуется пользоваться функцией Bookmarks (Закладки) в боковом меню программы Adobe Reader и системой ссылок.

УДК 528.7:625.7/.8(075.8)
ББК 26.131.я73

ISBN 978-5-98276-786-8



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Часть I. Основы аэрогеодезии.....	6
I.1. Аэросъемка при изысканиях автомобильных дорог и сооружений.....	6
I.1.1. Основные положения аэрофотосъемки и фотограмметрии.....	6
I.1.2. Классификация аэросъемок.....	7
I.1.3. Аэросъемочное оборудование.....	9
I.1.4. Оценка качества материалов аэрофотосъемки.....	12
I.2. Производство летно-съемочных работ.....	13
I.2.1. Создание планово-высотного обоснования.....	13
I.2.2. Аэронавигационное оборудование.....	14
I.2.3. Технология летно-съемочных и фотолабораторных работ. Оценка их качества.....	17
I.3. Формы представления изображений местности на снимках.....	18
I.3.1. Аналоговая форма.....	18
I.3.1.1. Масштабы и возможные искажения на аэрофотоснимках.....	19
I.3.1.2. Системы координат в фотограмметрии. Элементы ориентиро- вания аэрофотоснимков.....	21
I.3.2. Цифровые формы.....	22
I.3.2.1. Растровые изображения.....	23
I.3.2.2. Исправление и геометрическое преобразование цифровых изображений.....	24
I.3.2.3. Построение и стереоскопическое измерение цифровых изо- бражений.....	26
I.4. Дешифрирование аэрофотоснимков.....	27
I.4.1. Дешифровочные признаки топографических объектов.....	27
I.4.2. Технологии дешифрирования.....	28
I.5. Трансформирование аэрофотоснимков. Создание фотопланов.....	32
I.5.1. Методы трансформирования аэрофотоснимков и преобразование систем их координат.....	32
I.5.2. Фототриангуляция.....	35
I.5.3. Фотомеханическое трансформирование.....	36
I.5.4. Фотосхемы и фотопланы.....	38
I.5.5. Фотограмметрическое сканирование.....	39
I.6. Стерефотограмметрическая обработка аэрофотоснимков.....	40
I.6.1. Универсальные стереофотограмметрические приборы.....	40
I.6.2. Стереокомпараторы.....	44
I.6.3. Определение координат точек местности по аэрофотоснимкам.....	46
I.6.4. Основные понятия о цифровых фотограмметрических системах.....	48
I.6.5. Построение цифровой модели местности и ортоизображений (топо- графических планов).....	50
Часть II. Прикладная геодезия в строительстве.....	52
II.1. Приборы и методы геодезических измерений и построений.....	52
II.1.1. Теодолиты.....	52
II.1.1.1. Общие сведения.....	52
II.1.1.2. Способы угловых измерений.....	57
II.1.1.3. Введение поправок за центрировку теодолита и редукцию визирной марки.....	61
II.1.2. Нивелиры.....	63
II.1.3. Светодальномеры.....	65

П.2. Плановая геодезическая основа строительства автомобильных дорог.....	66
П.2.1. Общие сведения о разбивочной сети.....	66
П.2.2. Пункты разбивочной сети автомобильной дороги.....	67
П.2.3. Схемы построения разбивочных сетей.....	68
П.3. Высотная геодезическая основа дорожного строительства.....	70
П.3.1. Требования к точности определения отметок реперов.....	70
П.3.2. Методика нивелирования.....	71
П.3.3. Обработка данных нивелирования.....	72
П.4. Вынос точек трассы автомобильной дороги в натуру.....	75
П.4.1. Плановая разбивка трассы.....	75
П.4.2. Вычисление разбивочных углов и расстояний.....	79
П.4.3. Вертикальная разбивка автомобильной дороги.....	79
Часть III. Лабораторный практикум по аэрогеодезии и прикладной геодезии в транспортном строительстве.....	83
III.1. Расчет основных параметров плановой аэрофотосъемки.....	83
III.2. Оценка качества аэрофотосъемочного залета.....	87
III.3. Определение величин искажений на аэроснимках, вызванных превышением точек местности.....	92
III.4. Изучение устройства линзово-зеркального стереоскопа.....	96
III.5. Вариантное трассирование автодороги по аэрофотоснимкам.....	98
III.6. Разбивка пикетажа по трассе. Детальная разбивка круговой кривой методом прямоугольных координат.....	103
III.7. Привязка трассы автодороги к опознакам. Составление разбивочного чертежа.....	106
III.8. Изучение устройства стереометра профессора Дробышева (СТД-1, СТД-2) и коррекционных механизмов стереометра СТД-2.....	110
III.9. Работа на стереометре.....	114
III.10. Изучение устройства стереокомпаратора фирмы «Карл Цейс Йена».....	119
III.11. Точные теодолиты ЗТ5КП. Отсчетные устройства. Измерение горизонтальных углов способом круговых приемов.....	123
III.12. Создание опорной разбивочной сети методом триангуляции.....	129
III.13. Изучение устройства высокоточного нивелира НА-1. Измерение превышений и определение расстояний по нитяному дальномеру.....	136
III.14. Высотная разбивочная сеть.....	140
III.15. Привязка трассы автодороги III категории к пунктам планово-высотной опорной сети методом полярных координат.....	147
III.16. Вычисление разбивочных элементов для выноса проекта автодороги методом полярных координат.....	153
III.17. Оценка точности геодезических измерений.....	154
Библиографический список.....	158

ВВЕДЕНИЕ

В связи с переходом на системное автоматизированное проектирование (САПР) транспортных сооружений существенно изменились методы изысканий: проектировщики отказались от традиционной технологии сбора информации на узкой полосе вдоль выбранного на стадии предварительных работ единственного и зачастую не самого рационального варианта трассы. Основное внимание уделяется обоснованию полосы варьирования конкурентоспособных вариантов трассы, на которой выполняются работы по сбору необходимой для разработки проекта информации о местности. В последние десятилетия при изысканиях транспортных сооружений стали широко применяться такие современные высокопроизводительные методы сбора топографической информации, как космическая фотограмметрия, цифровая фотограмметрия, воздушное сканирование, наземно-космические съемки с использованием приборов спутниковой навигации, электронная тахеометрия.

Для современного системного автоматизированного проектирования необходима трехмерная топографическая информация о широкой полосе варьирования конкурентоспособных вариантов трассы: крупномасштабные топографические планы и информационные цифровые модели местности (ЦММ), составленные в единой системе координат.

Разработка и внедрение в производство цифровой фотографии обусловили появление принципиально новых типов аэросъемочной аппаратуры с соответствующим изменением материалов аэросъемочной информации (цифровых носителей вместо традиционных аэрофотоматериалов). Развитие цифровой фотограмметрии потребовало разработки принципиально новых технологий производства аэросъемок с использованием специальных сканеров воздушного базирования и последующей фотограмметрической обработкой полученных материалов.

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ АЭРОГЕОДЕЗИИ

I.1. Аэросъемка при изысканиях автомобильных дорог и сооружений

I.1.1. Основные положения аэрофотосъемки и фотограмметрии

Фотограмметрия — это научная дисциплина, изучающая способы определения форм, размеров и пространственного положения объектов в заданной системе координат по их фотографическим изображениям.

В современной фотограмметрии нашел широкое применение метод цифровой обработки фотографических изображений, получаемых по материалам фотосъемки местности или путем сканирования традиционных аэрофотоснимков.

Цифровая фотограмметрия — это дисциплина, изучающая методы создания фотограмметрических изображений, базирующихся на аналитических методах обработки снимков, использующих достижения теории компьютерного зрения, машинной графики, методов распознавания предметов образов и преобразования изображений, цифровой фильтрации и теории сигналов, вычислительной геометрии и теории информации, теории вероятности и математической статистики, операционных методов и теории связи.

Методы аэрокосмической фотограмметрии предполагают выполнение фотосъемки местности с летательных или космических аппаратов с помощью установленной на них специальной фотосъемочной аппаратуры.

Аэрофотосъемка представляет собой комплекс работ, выполняемых для получения снимков различных масштабов и цифровых моделей местности. Получить материалы фотографирования местности можно с помощью специальной аэрофотографической аппаратуры (АФА), установленной на летательных аппаратах (ЛА) или искусственных спутниках Земли — космических аппаратах (КА).

Воздушное лазерное сканирование является аналогом аэрофотосъемки, отличающимся по способам производства съемочных работ и фотограмметрической обработки полученных материалов. Выполняется с использованием специального съемочного оборудования — лазерных сканеров.

Аэроизыскания представляют комплекс воздушных, а также наземных полевых и камеральных работ, обеспечивающих получение исходной информации, необходимой для разработки проектов объектов транспортного строительства.

Применение аэрокосмических методов изысканий обеспечивает возможность резкого снижения трудоемкости и сокращения сроков выполнения работ при увеличении широты охвата и полноты различных видов необходимой для проектирования информации.

Аэроизыскания производят с применением аэросъемочного, навигационного (в частности, инерциальных систем прямого геопозиционирования GPS/IMU), сканирующего и стереофотограмметрического оборудования, а также цифровых фотограмметрических систем на базе широкого использования современных средств автоматизации и компьютерной техники. Их можно разделить на три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

В подготовительный период выполняют сбор имеющейся топографической информации и материалов аэрокосмических съемок прошлых лет, обосновывают параметры полосы конкурентоспособных вариантов трассы и составляют проект полевых и камеральных аэрофотограмметрических работ. В полевой период проводят наземные инженерно-геодезические работы по созданию планово-высотных обоснований аэросъемок, закрепление и маркировку точек опорной сети, выполняют аэрокосмические съемочные работы, привязку и дешифрирование аэроснимков. В камеральный период выполняют обработку результатов геодезических измерений, фотограмметрические работы, фототриангуляцию или аналитическую компьютерную фототриангуляцию, составляют топографические планы или цифровые модели местности (ЦММ).

I.1.2. Классификация аэросъемок

В зависимости от высоты, на которой находится летательный аппарат, положения оптической оси и конструктивных особенностей применяемого аэросъемочного оборудования, используемых видов носителей информации и зон спектра электромагнитных волн, а также от способа организации работ различают следующие виды съемок:

1. *Космическая съемка* выполняется из космоса с высоты до 200 км методами дистанционного зондирования: сверхдлиннофокусными АФА с высокой разрешающей способностью, лазерной или радиолокационной аппаратурой.

2. *Аэрофотосъемка* производится с самолетов или вертолетов с высоты до 2 км специально оборудованными для этой цели АФА различных конструкций и аэронавигационными приборами. Допустимое отклонение оптической оси от отвесной линии $\alpha \leq 3^\circ$. Крупномасштабная аэрофотосъемка осуществляется с высоты до 500 м с низколетательных аппаратов (мотодельтапланов, парапланов) или радиоуправляемых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оборудованных короткофокусными АФА. Допустимое отклонение оптической оси от отвесной линии $\alpha \leq 10^\circ$.

В практике изысканий объектов транспортного строительства наибольшее применение нашла плановая аэрофотосъемка, при которой оптическая ось АФА практически отвесна. Ее материалы дают наибольший объем информации о рельефе, ситуации и инженерно-геологических особенностях местности.

3. *Перспективная аэрофотосъемка* выполняется при наклонном положении оптической оси АФА. Ее аэроснимки в основном используют как вспомогательные при дешифрировании плановых аэроснимков, а также при ландшафтном проектировании автомобильных дорог, решении ряда экологических задач.

Интервал открытия затвора АФА устанавливают в зависимости от высоты и скорости полета летательного аппарата при условии обеспечения не менее 60 % взаимного продольного и 20...60 % поперечного перекрытия аэрофотоснимков.

4. *Аналоговая аэрофотосъемка* выполняется аналоговыми АФА, обычно на черно-белую (панхроматическую), цветную трехслойную и цветную двухслойную (спектрзональную) фотопленки или фотопластины (аналоговое фотоизображение). Цифровая аэросъемка осуществляется с использованием специальных цифровых и сканирующих камер с записью информации в цифровом виде на магнитные носители. Цифровое фотоизображение формируется с помощью фотодиодов или приемников с зарядовой связью (ПЗС) в форме ПЗС-матрицы или ПЗС-линейки с примерно равными техническими возможностями.

Черно-белая (бинарная) аэросъемка производится на черно-белую фотопленку или цифровые носители информации и обеспечивает достаточно надежную информацию о рельефе и контурах местности.

Цветная аэросъемка выполняется на трехслойную цветную фотопленку или цифровые носители информации с использованием определенной палитры. В палитре RGB используются три основных цвета: красный (Red), зеленый (Green) и синий (Blue), соответствующее сочетание которых передает окраску объектов в действительных цветах. Палитра CMYK дает более качественные оттенки за счет смешения четырех цветов: голубого (Cyan), сиреневого (Magenta), желтого (Yellow) и черного (Black).

Спектрзональная аэрофотосъемка на цветной двухслойной фотопленке или цифровых носителях информации дает окраску объектов в условных цветах, фиксируя малейшие изменения оттенков. Применение ее эффективно в районах с различным растительным покровом для определения его состава, а также типов грунтов и почв, их влажности и т. д.

Многозональная аэрофотосъемка производится синхронно работающими АФА, использующими различные фотопленки или цифровые носители информации. Применяется в районах со сложными инженерно-геологическими условиями, на оползневых и закарстованных участках местности, на конусах выноса водных потоков и т. д.

В отдельных случаях применяются *инфракрасная (тепловая) аэрофотосъемка* специальными черно-белыми или цветными сканерами — тепловизорами, *радиолокационная аэросъемка* — изображения получают по отраженным местностью электромагнитным волнам, записываемым на магнитные носители информации, *воздушное лазерное сканирование* с построчным сканированием местности пучком лазерного излучения, осуществляемым перпендикулярно маршруту со скоростью несколько тысяч точек в секунду (рис. 1).

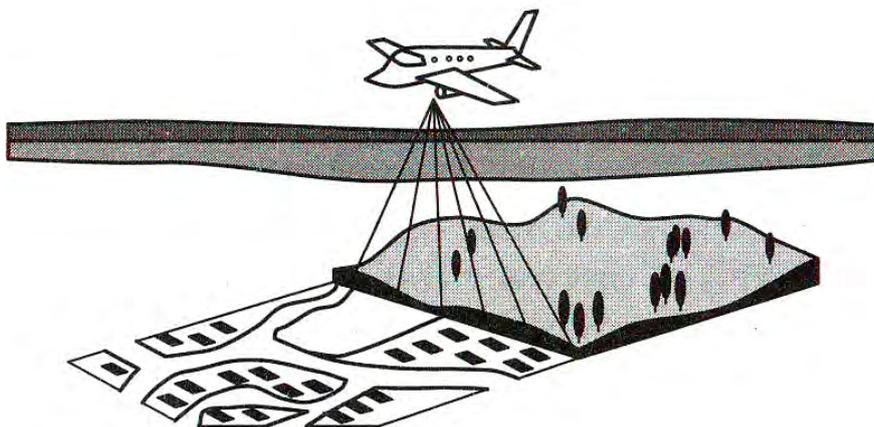


Рис. 1. Воздушное лазерное сканирование

Наибольшую точность обеспечивает комбинированная съемка — сочетание аэросъемки и наземной топографической съемки. Ситуацию местности фиксируют по материалам фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, а рельеф — по этим же материалам с использованием данных наземной топографической съемки.

1.1.3. Аэросъемочное оборудование

Съемку производят специальным аэросъемочным и навигационным оборудованием, устанавливаемым на самолетах, вертолетах, искусственных спутниках Земли, а при крупномасштабных съемках — на мотодельтапланах и беспилотных летательных аппаратах.

Аэросъемочные системы — это комплект приборов, включающий АФА, гиросtabilизирующую аэроустановку для автоматического приведения оптической оси АФА в положение, близкое к отвесному, и управляющий (командный) прибор (рис. 2).

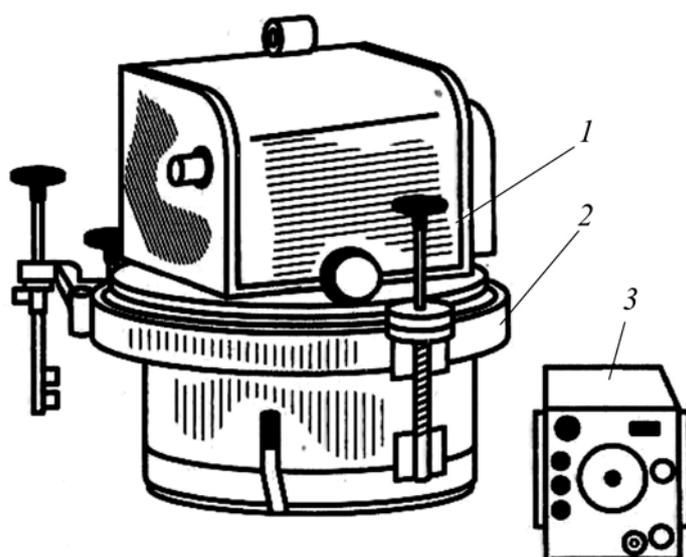


Рис. 2. Общий вид традиционного аэрофотоаппарата (АФА): 1 — аэрофотоаппарат; 2 — аэрофотоустановка; 3 — управляющий (командный) прибор

Пленочный (аналоговый) аэрофотоаппарат (рис. 3) состоит из трех основных частей: объектива 1, камеры 2 и кассеты 3.

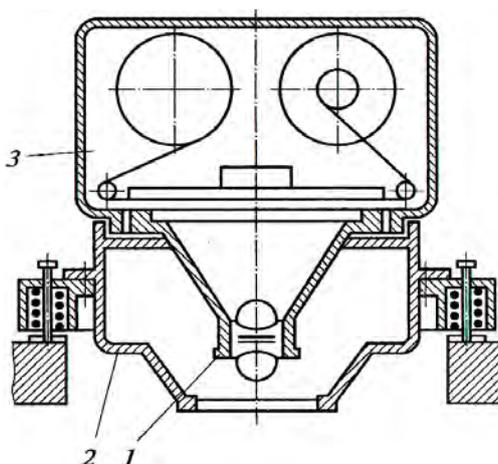


Рис. 3. Основные части традиционного пленочного (аналогового) аэрофотоаппарата (АФА): 1 — объектив; 2 — камера; 3 — кассета

В зависимости от высоты съемки применяют АФА с различными фокусными расстояниями объективов f_k :

- краткофокусные — 35, 40, 50, 70 мм;
- среднефокусные — 100, 110, 140 мм;
- длиннофокусные — 200, 300, 350, 500 мм;
- сверхдлиннофокусные — более 500 мм.

При специальных крупномасштабных съемках обычно используют короткофокусные АФА, при аэросъемках для проектирования АД — среднефокусные и длиннофокусные, при космических съемках — сверхдлиннофокусные. В зависимости от чувствительности фотопленки и освещенности местности экспонирующее устройство АФА выполняет автоматическую установку выдержки и диафрагмы.

Объектив АФА формирует изображение снимаемой местности в фокальной плоскости. Там же размещается прикладная рамка с координатными метками.

Наиболее часто используют АФА с форматом кадра 18 × 18 см. Реже применяют форматы 23 × 23 и 30 × 30 см. Кассеты АФА вмещают 60 м фотопленки, позволяющей получать по 300 аэроснимков. В ходе съемки двигательный механизм обеспечивает автоматическое перемещение фотопленки в заданном режиме.

Аэрофотоустановка обеспечивает ориентирование положения оптической оси АФА и его амортизацию.

Применяемые гиросtabilизирующие установки автоматически приводят оптическую ось АФА в отвесное положение (отклонение не превышает $\pm 10'$).

Для вычисления координат точек местности и определения масштабов аэрофотоснимков используют информацию о высоте полета, которую получают высотомерами и статоскопами.

Радиовысотомерами высоту определяют по скорости распространения радиоволн прямого и отраженного сигналов. Передающая часть прибора периодически, через очень короткие промежутки времени, излучает импульсы

электромагнитных волн, которые, отражаясь от поверхности Земли, улавливаются его приемной частью. Показания фиксируются на фотопленке. Средняя ошибка определения высоты полета радиовысотомером составляет 1,5...2,0 м, лазерным высотомером — 0,5...1,0 м.

Статоскопы — приборы барометрического принципа действия выполняют определение колебаний высоты полета летательного аппарата (воздушные ямы, воздушные потоки). Точность — 1,0...1,5 м.

Приборы спутниковой навигации — приемники GPS в настоящее время вытесняют парк традиционного навигационного оборудования аэрофотосъемок и расширяют его возможности. Они позволяют в режиме реального времени (практически мгновенно) с высокой точностью определять трехмерные координаты оптического центра объектива АФА, скорость полета и угловые элементы ориентирования.

В аэросъемочный комплекс входят также системы вспомогательного оборудования.

Сканирующая система воздушного базирования для производства аэрофотосъемки включает в себя:

сканирующий модуль (фокусное расстояние $f_k = 110$ мм), выполняющий аэрофотосъемку (рис. 4, а);

систему управления полетом (рис. 4, б) — планшетный компьютер, контролирующий положение летательного аппарата, курс и отклонение от маршрута;

управляющий компьютер (рис. 4, в);

стабилизирующую платформу (рис. 4, г), компенсирующую углы наклона самолета и удерживающую камеру в горизонтальном положении (отклонение не более 12 минут, рис. 4, д);

инерциальную систему прямого геопозиционирования GPS/IMU, обеспечивающую определение линейных и угловых элементов внешнего ориентирования в режиме реального времени.

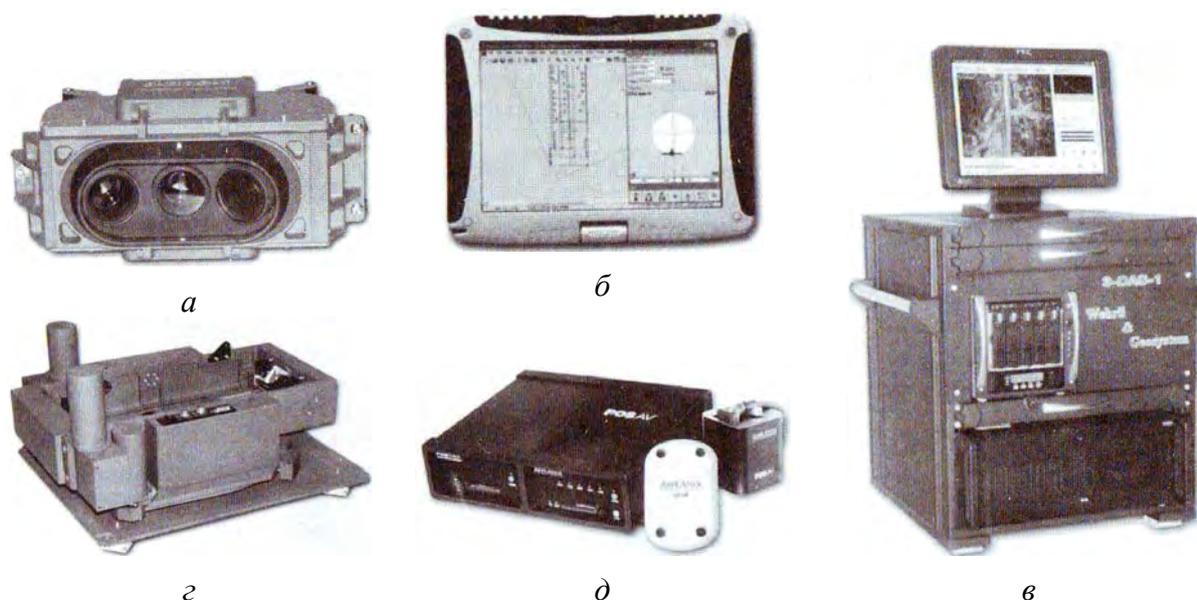


Рис. 4. Сканирующая система воздушного базирования для производства аэрофотосъемки: а — сканирующий модуль; б — система управления полетом; в — управляющий компьютер; г — стабилизирующая платформа; д — инерциальная система прямого геопозиционирования

I.1.4. Оценка качества материалов аэрофотосъемки

Производство аэрофотосъемки полосы варьирования трассы автомобильной дороги осуществляют по многомаршрутным схемам с обеспечением не только необходимого продольного, но и поперечного (между маршрутами) перекрытий снимков.

Фотограмметрическое качество снимков определяется величиной линейного сдвига изображения за время экспозиции, выдерживанием заданной высоты полета над средней плоскостью снимаемого участка, заданных величин продольного и поперечного перекрытия аэрофотоснимков, взаимных углов наклона аэрофотоснимков, показателями не параллельности базиса фотографирования стороне аэрофотоснимка и прямолинейности маршрутов.

Высота полета над средней плоскостью снимаемого участка не должна отличаться от заданной в равнинных районах более чем на 30 м, в горных — более чем на 50 м.

Среднюю плоскость на съемочном участке рассчитывают по формуле

$$A_{\text{cp}} = \frac{A_{\text{min}} + A_{\text{max}}}{2},$$

где A_{min} , A_{max} — соответственно минимальная и максимальная высота элементов рельефа (высота одиночной вершины на съемочном участке обычно не учитывается).

Продольное перекрытие аэрофотоснимков должно находиться в пределах 60...90 %, поперечное — 20...60 %.

Углы наклона аэрофотоснимков при фотографировании не должны превышать 3°. Максимально допустимое значение продольных углов наклона могут иметь не более 3 %, а поперечных — не более 5 % стереопар.

Непараллельность базиса фотографирования стороне аэрофотоснимка у аэрофотоаппаратов с фокусным расстоянием до 100 мм не должна превышать 5°, до 140 мм — 7°, до 200 мм — 10°, до 350 мм — 12°, до 500 мм — 14°.

Для получения снимков надлежащего фотографического качества аэрофотосъемку проводят при отсутствии облачности, атмосферной дымки и производственных дымов. При фотографировании на черно-белый носитель высота Солнца над горизонтом должна быть не менее 20°, на спектрзональный и цветной — не менее 25°.

Для производства аэрофотосъемки должны быть известны: масштаб залета, тип и фокусное расстояние АФА, применяемые специальные приборы, тип носителя информации.

В задание на разработку технического проекта включают: объем работ (в квадратных километрах), масштаб аэрофотосъемки, тип АФА, технические условия получения материалов аэрофотосъемки, дополнительные условия, перечень материалов, подлежащих сдаче заказчику.

Высоту полета над средней плоскостью $H_{\text{ф}}$, м, вычисляют по формуле

$$H_{\text{ф}} = f_{\text{к}} m_{\text{с}},$$

где $f_{\text{к}}$ — фокусное расстояние АФА, мм; $m_{\text{с}}$ — линейный масштаб аэрофотосъемки.

Технический проект на выполнение аэрофотосъемки включает общую площадь съемочного участка, количество съемочных маршрутов, продолжительность летного времени, общее число аэрофотоснимков, необходимое количество фотоматериалов.

1.2. Производство летно-съемочных работ

1.2.1. Создание планово-высотного обоснования

Процессу летно-съемочных работ, как правило, предшествует комплекс наземных геодезических измерений и построений геодезической основы аэросъемки.

Точки аэрофотоснимков с определенными в результате наземных геодезических работ координатами (привязкой к пунктам государственной геодезической сети), называются опорными точками (опознаками).

Плановые опознаки устанавливают и закрепляют деревянными знаками или бетонными монолитами в местах четких, легко опознаваемых на снимках контуров местности (рис. 5).

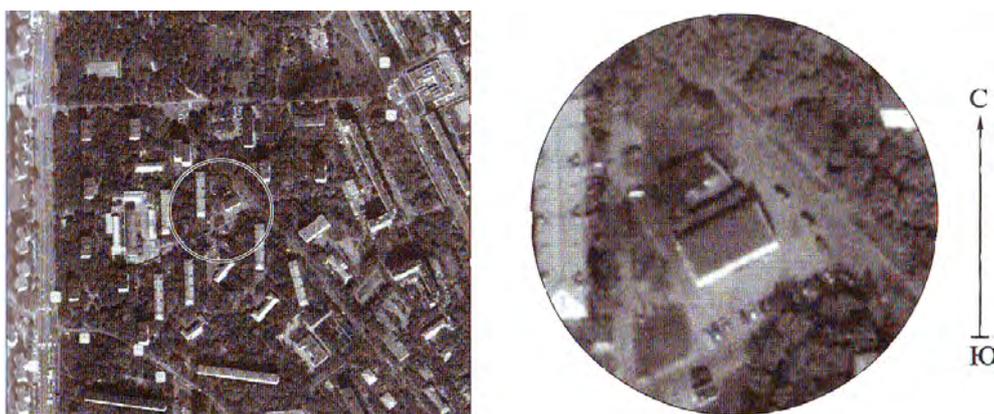


Рис. 5. Размещение опознака на характерном контуре местности

Для нахождения опознака на аэрофотоснимке, вокруг него устраивают легко опознаваемые полосы (рис. 6). Длина каждой полосы на местности должна соответствовать отрезку не менее 1 мм на снимке, а ширина должна быть в пределах 0,3...1,0 мм.

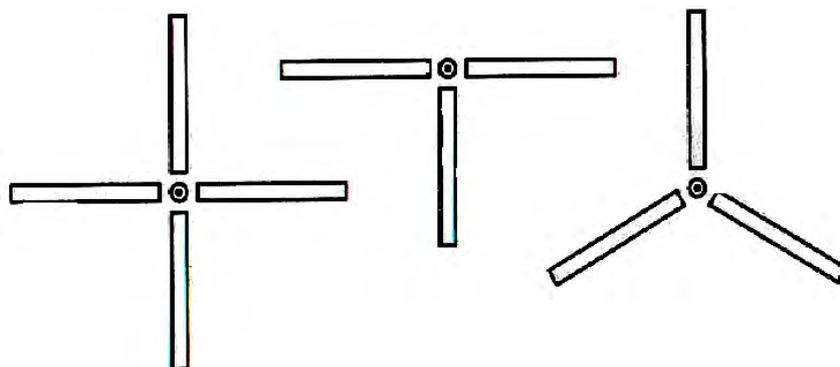


Рис. 6. Характерные виды маркировки опознаков

Для выделения полос маркировки на общем фоне местности с них снимают дерн, поверхность засыпают опилками, песком, известью или выкапывают канавки и производят контрастирующие засыпки. Привязку плановых опознаков выполняют прямыми и обратными засечками или прокладкой теодолитных ходов.

На аэрофотоснимках пункты государственной геодезической сети закрепляют тушью в виде красного треугольника со стороной 10 мм. В месте расположения опознака делают накол и обводят его красной тушью кружком радиусом 5 мм. На обратной стороне снимка вычерчивают схему расположения опознака относительно ближайших четких контуров местности. Ошибка в определении положения опознаков на аэрофотоснимке не должна превышать 0,1 мм.

Для обеспечения достаточной точности производства камеральных стереофотограмметрических работ в поле выполняют комплекс наземных геодезических измерений по созданию высотного обоснования аэрофотосъемок, т. е. определяют абсолютные высоты ряда хорошо опознаваемых на аэрофотоснимках точек — высотных опорных точек (высотных опознаков). Высотную привязку опознаков к пунктам государственной нивелирной сети или закрепленным точкам трассы линейного сооружения выполняют прокладкой ходов геометрического или тригонометрического нивелирования. Высотные опознаки закрепляют на местности стандартными деревянными столбами или бетонными монолитами.

На аэрофотоснимках высотные опознаки накалывают и закрепляют черной тушью кружком радиусом 5 мм. На обратной стороне снимка изображают абрис расположения опознака с поясняющими надписями. Ошибка в определении высот опознаков допускается не более $1/5$ высоты сечения горизонталей для равнинного рельефа и не более $1/3$ высоты сечения — для горного.

Большая часть плановых опознаков, как правило, одновременно являются и высотными. Такие опорные точки называют планово-высотными опознаками.

1.2.2. Аэронавигационное оборудование

Для выполнения аэросъемочных работ используют аэронавигационное оборудование, обеспечивающее стабилизацию АФА, контроль высоты фотографирования, скорости и прямолинейности полета, интервалов между экспозициями, обуславливающее возможность правильного захода на очередной съемочный маршрут, а также определения данных для последующей стереофотограмметрической обработки.

Радиовысотомер представляет собой радиолокационный прибор, определяющий высоту полета в момент выполнения фотографирования. Принцип действия радиовысотомера основан на использовании метода измерения расстояний по времени прохождения импульса радиоволны до земной поверхности и после отражения от нее обратно.

В момент экспонирования передатчик 1 (рис. 7) генерирует и через антенну 2 излучает радиопульс, который, отразившись от земной поверхности, улавливается приемной антенной 3 и через приемник 4 передается на экран индикатора 5.

В момент срабатывания затвора АФА результат фиксируется на фотопленку в виде высотограммы.

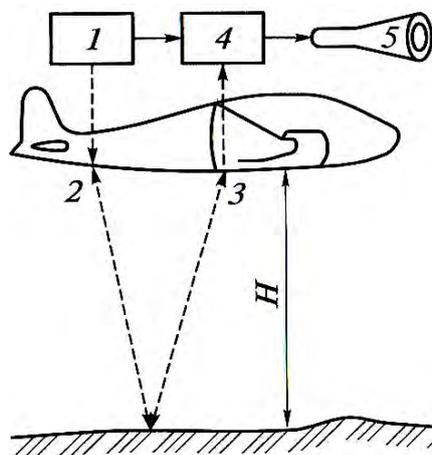


Рис. 7. Принцип работы радиовысотомера: 1 — передатчик; 2, 3 — антенны; 4 — приемник; 5 — индикатор

Применяемые при аэросъемке радиовысотомеры РВД и РВД-А обеспечивают определение высоты фотографирования над равнинной местностью с точностью около 1,2... 1,5 м.

Статоскоп — высокочувствительный дифференциальный барометр, определяющий изменение давления воздуха, возникающее при колебаниях высоты фотографирования. Прибор представляет собой частично заполненные жидкостью две U-образные трубки. Конец одной из трубок непосредственно перед началом фотографирования закрывается. Колебания высоты полета фиксируются в виде разностей уровней жидкости в двух коленах непрерывным фотографированием на движущуюся фотопленку (рис. 8).

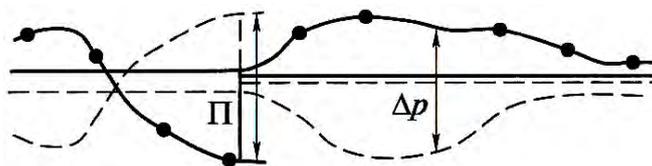


Рис. 8. Фрагмент статограммы

Проявленная пленка, называемая статограммой, содержит графический материал об изменении давления в точках фотографирования — расстояния Δp между сплошной и прерывистой линиями. Точки сплошной линии соответствуют моментам фотографирования.

Применяемые статоскопы — автоматы непрерывного действия С-51 и С-51М — обеспечивают точность около 1 м.

Гиросtabilизирующие установки предназначены для стабилизации оси фотографирования аэрофотоаппарата в отвесном положении.

Автопилоты аэрофотосъемочных летательных аппаратов совместно с навигационными комплексами обеспечивают прямолинейность полета со стабилизацией заданного курса и высоты, а также координацию разворотов с заданным креном.

В настоящее время происходит переход к применению инновационной технологии аэросъемки, основанной на использовании воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки. В процессе лазерного сканирования измеряются наклонное расстояние до точки отражения лазерного луча от земной поверхности и угол лазерного луча в системе координат локатора. Установленные на лазерном сканере бортовой GPS-приемник и инерциальная система IMU обеспечивают каждый цифровой снимок в режиме реального времени необходимыми шестью элементами внешнего ориентирования: тремя линейными (X_s , Y_s , Z_s) и тремя угловыми (α , ω , χ). В совокупности с измеряемыми значениями наклонных расстояний и углов сканирования достигается возможность определения геодезических координат точек рельефа и ситуации местности со средней погрешностью $\pm 10...20$ см (рис. 9). Применение лазерно-локационного метода позволяет исключить трудоемкие наземные геодезические работы по созданию планово-высотного обоснования аэрофотосъемок.

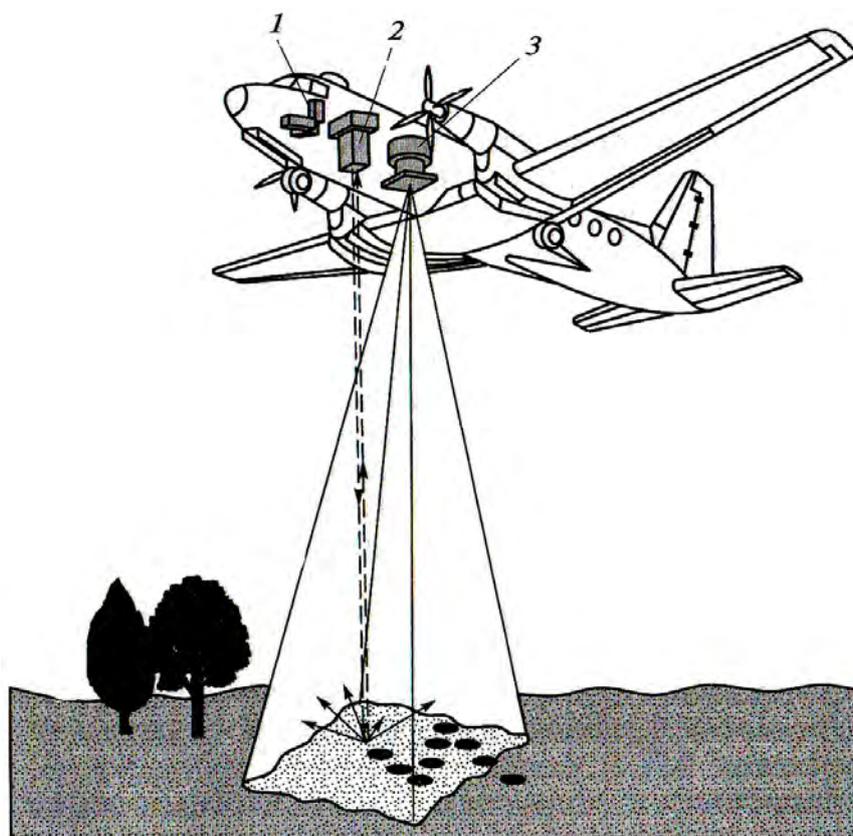


Рис. 9. Современный аэросъемочный комплекс: 1 — система прямого геопозиционирования GPS/IMU; 2 — лазерно-локационная система; 3 — аэрофотоаппарат

I.2.3. Технология летно-съёмочных и фотолабораторных работ. Оценка их качества

В общем виде процесс аэросъёмочных изысканий состоит из подготовительных, летно-съёмочных, топографо-геодезических, фотолабораторных и контрольно-сдаточных работ.

В *подготовительный период* определяют объёмы и сроки выполнения аэросъёмочных работ, а также устанавливают границы полосы, в пределах которой должны разместиться конкурентоспособные варианты трассы автомобильной дороги. Для уточнения границ территории аэрофотосъёмки используют имеющиеся топокарты, материалы наземных топогеодезических, инженерно-геологических, гидрометеорологических, экономических изысканий и материалы аэросъёмки прошлых лет. Устанавливают необходимые масштабы аэросъёмки, намечают аэросъёмочные маршруты, составляют полётную карту, знакомятся с районом аэросъёмочных изысканий, выполняют проверки и юстировку аэросъёмочного и навигационного оборудования.

Летно-съёмочные работы выполняют в дневное время с самолетов, беспилотных летательных аппаратов, мотодельтапланов, вертолетов или с космических аппаратов. Аэросъёмку ведут либо при полном отсутствии облачности, либо при сплошной высокой облачности.

После набора нужной высоты руководитель аэросъёмочных работ определяет параметры полета и режим работы аэросъёмочного оборудования. Фотооператор выполняет установку приборов в нужный режим и включает съёмочную аппаратуру в момент входа самолета на маршрут. В конце маршрута аэросъёмочное оборудование выключают и вновь включают после захода на следующий маршрут и т. д.

Фотолабораторные работы состоят из проявления аэрофильмов и изготовления на их основе аэрофотоснимков. При стереофотограмметрической обработке материалов аэрофотосъёмки с использованием цифровых фотограмметрических систем аэрофильмы предварительно сканируют с помощью фотограмметрических сканеров.

Контрольно-сдаточные работы заключаются в оценке соответствия качества полученного материала установленным требованиям, выбраковке и повторной аэросъёмке маршрутов, в которых полученные материалы им не отвечают.

При выполнении фотолабораторных работ каждому негативу присваивают свой порядковый номер и шифр. Надпись делают черной тушью на эмульсионной стороне в северо-восточном углу каждого кадра зеркальным отображением цифр. В результате на аэрофотоснимках содержится необходимая информация, например Г.502.2014.182, где Г.502 — шифр объекта аэрофотоснимка; 2014 — дата залета; 182 — порядковый номер кадра аэрофильма.

Необходимое количество отпечатков получают на светокопировальных станках, позволяющих автоматически выравнивать различную плотность отдельных участков негативов и обеспечивающих получение аэрофотоснимков и диапозитивов высокого фотограмметрического качества.

Накладывая аэрофотоснимки друг на друга перекрывающимися частями и прикрепляя их к твердой основе, составляют накидной монтаж, фотографируя который, получают его фотокопию, называемую репродукцией накидного монтажа.

В каждом маршруте оценивают его прямолинейность и отклонения полученных продольных и поперечных перекрытий смежных аэрофотоснимков от допустимых значений, неизменность высоты фотографирования и другие показатели аэросъемки.

Качество аэросъемки считают удовлетворительным при продольном перекрытии смежных аэрофотоснимков не менее 55 %, поперечном — не менее 15 %. Высота фотографирования может меняться в пределах 5 %. Прямолинейность маршрута на накидном монтаже оценивается измерением расстояний от главных точек аэрофотоснимков до прямой, соединяющей главные точки начального и конечного снимков маршрута. Отклонения от прямой линии не должны превышать 3 % от общей длины маршрута.

Также выполняют оценку фотографического качества аэрофотоснимков, степени их разномасштабности, непараллельности сторон аэрофотоснимков направлению маршрута, качества выравнивания фотопленки в плоскость и т. д.

Результаты заносят в паспорт залета. В нем также фиксируют сведения о результатах испытания АФА и аэронавигационного оборудования, условиях полета, аэросъемки и ряд других данных. При обнаружении отклонений от требований, предъявляемых к качеству аэросъемки, забракованные маршруты переснимают вновь.

I.3. ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕСТНОСТИ НА СНИМКАХ

I.3.1. Аналоговая форма

Аналоговая форма представления изображений, являясь одной из основных, обеспечивает получение информации на бумаге, фотобумаге, фотопленке и т. д.

Изображения местности, получаемые с летательных или космических аппаратов, называются *аэрофотоснимками* (космоснимками). Они создаются по законам центральной проекции связкой проектирующих лучей, проходящих через центр проекций S , которым является центр объектива, и картинной плоскостью — плоскостью прикладной рамки АФА (рис. 10, а). Изображение на снимке каждой точки земной поверхности A, O, B, C (на снимке соответственно точки s, b, o, a) получают в результате пересечения соответствующих лучей с плоскостью аэрофотоснимка.

Луч OSo , перпендикулярный плоскости аэрофотоснимка, является *главным лучом аэрофотоснимка* (оптической осью АФА), а основание перпендикуляра OSo (точка o) — *главной точкой аэрофотоснимка*.

Главная точка снимка расположена на пересечении линий, соединяющих противоположные координатные метки аэрофотоснимка (рис. 10, б).

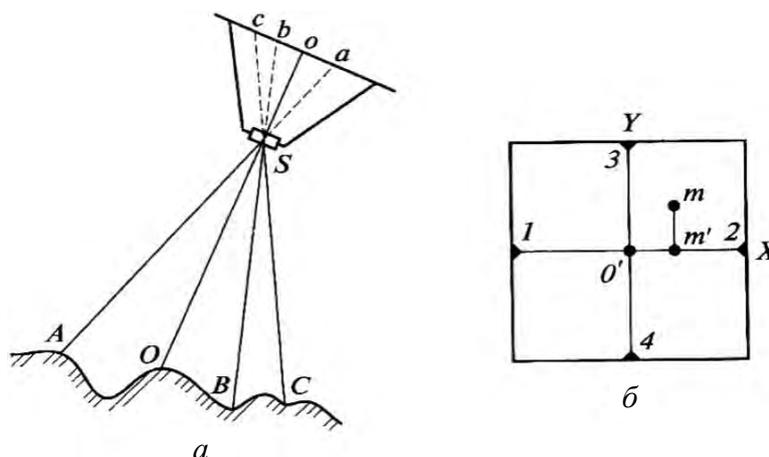


Рис. 10. Схема определения положения точек местности на аэрофотоснимке: а — центральная проекция аэрофотоснимка; б — оси координат аэрофотоснимка

Аналоговое изображение характеризуется форматом кадра, величиной фокусного расстояния объектива АФА и погрешностями, возникающими при его образовании. Основными показателями качества аналогового изображения являются разрешающая способность системы «объектив — негатив» и величина некомпенсируемой дисторсии (нарушения подобия изображения в плоскости аэрофотоснимка).

Расположение точек аэрофотоснимка определяют в системе правых прямоугольных координат $O'XY$ (см. рис. 10, б). Направления координатных осей задают в процессе юстировки (калибровки) АФА и фиксируют на снимках четырьмя механическими или четырьмя — восемью оптическими координатными метками. Координаты точки m на аэрофотоснимке вычисляют по формулам

$$x = o'm; y = m't.$$

В процессе развития вычислительной техники появилась и используется цифровая форма аналоговых изображений, осуществляющая представление изображений в оперативной памяти компьютера и на магнитных носителях информации.

1.3.1.1. Масштабы и возможные искажения на аэрофотоснимках

Отношение длины отрезка на аэрофотоснимке ab к длине того же отрезка на местности AB называется *численным масштабом аэрофотоснимка*. При отвесном положении оптической оси АФА (рис. 11), масштаб аэрофотоснимка можно определить по формуле

$$\frac{ab}{AB} = \frac{f_k}{H} = \frac{os}{OS},$$

где f_k — фокусное расстояние АФА; H — высота фотографирования.

При наклонном положении оптической оси АФА или значительных уклонах снимаемой местности масштабы аэрофотоснимков в разных их частях будут неодинаковы.

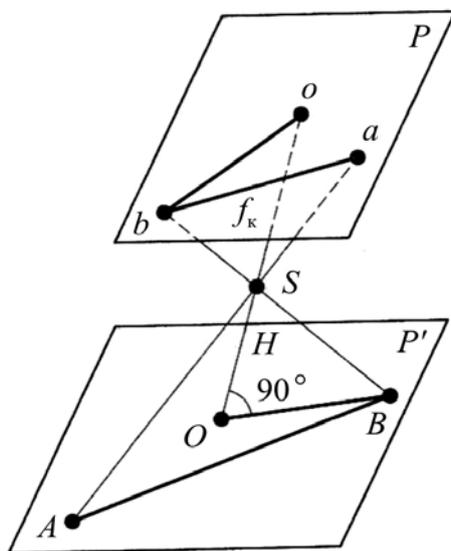


Рис. 11. Схема определения масштаба аэрофотоснимка

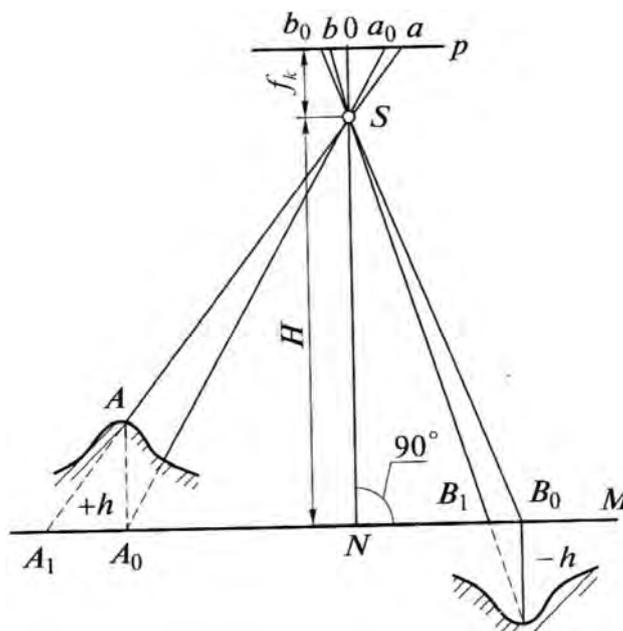


Рис. 12. Смещение изображений на аэрофотоснимке точек, находящихся на разной высоте

На рис. 12 видно, что если точка A расположена выше $(+h)$, а точка B — ниже $(-h)$ средней плоскости местности M , (точки A_0 и B_0 — их ортогональные проекции), то точки a_0, a и b_0, b являются соответственно центральными проекциями этих точек на аэрофотоснимке P . Расстояния $aa_0 = \delta_{ha}$ и $bb_0 = \delta_{hb}$ являются смещениями точек a и b на аэрофотоснимке P за счет соответствующих превышений. Только у точки *надир* N , расположенной на отвесной линии и проходящей через центр объектива, искажений при уклоне местности не будет, т. е. $\delta_h = 0$. Выполняя рисовку горизонталей и контуров мест-

ности необходимо вводить поправки в положения соответствующих точек за уклон местности δ_h . При положительном превышении по направлению к главной точке, а при отрицательном — в противоположную сторону:

$$\delta_h = \frac{h_i r_i}{H},$$

где r_i — радиус-вектор, расстояние между рассматриваемой точкой и главной точкой снимка.

1.3.1.2. Системы координат в фотограмметрии. Элементы ориентирования аэрофотоснимков

При обработке стереопар используют две системы прямоугольных координат: геодезическую (левую) (рис. 13, а) и фотограмметрическую (правую) (рис. 13, б).

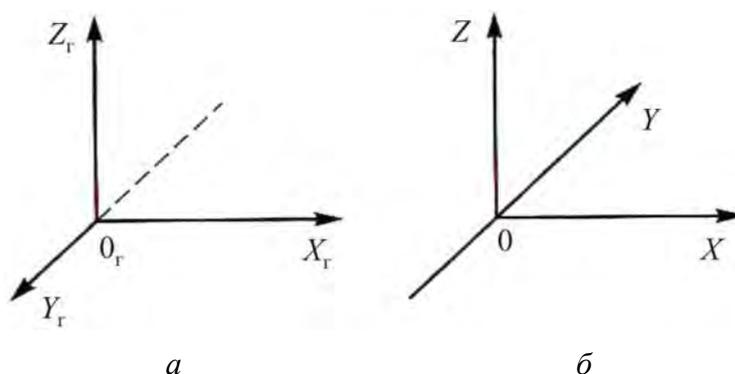


Рис. 13. Системы координат снимков стереопары: а — геодезическая (левая); б — фотограмметрическая (правая)

Величины, определяющие положение плоскости аэрофотоснимка относительно центра проекций S , называются *элементами внутреннего ориентирования*. К ним относятся координаты главной точки аэрофотоснимка x_0 , y_0 и фокусное расстояние объектива АФА f_k . Элементы внутреннего ориентирования позволяют восстановить существовавшее в момент фотографирования положение лучей относительно плоскости аэрофотоснимка.

При юстировке (калибровке) АФА совмещают главную точку аэрофотоснимка с началом фотограмметрических координат. Тогда $x_0 = 0$, $y_0 = 0$ и, следовательно, элементы внутреннего ориентирования будут определяться только фокусным расстоянием объектива АФА f_k .

Числовые значения, определяющие положение аэрофотоснимка в пространстве в момент фотографирования в системе геодезических координат, называются *элементами внешнего ориентирования*.

В аэрофотограмметрии применяют две системы внешнего ориентирования аэрофотоснимков.

К первой системе внешнего ориентирования относятся следующие параметры:

X_s, Y_s, Z_s — геодезические координаты центра проекций (объектива);

α_0 — угол отклонения от отвесной линии главного луча (оптической оси АФА) в момент фотографирования;

α — дирекционный угол главного луча, т. е. угол между осью X и проекцией главного луча на плоскость XU ;

χ — угол поворота снимка (рис. 14, *a*).

Ко второй системе элементов внешнего ориентирования аэрофотоснимков относятся:

X_s, Y_s, Z_s — геодезические координаты центра проекций S ;

α_x — продольный угол наклона снимка, (между осью Z и проекцией главного луча на плоскость XZ);

ω — поперечный угол наклона снимка (между главным лучом и плоскостью XZ);

χ — угол разворота снимка (рис. 14, *б*).

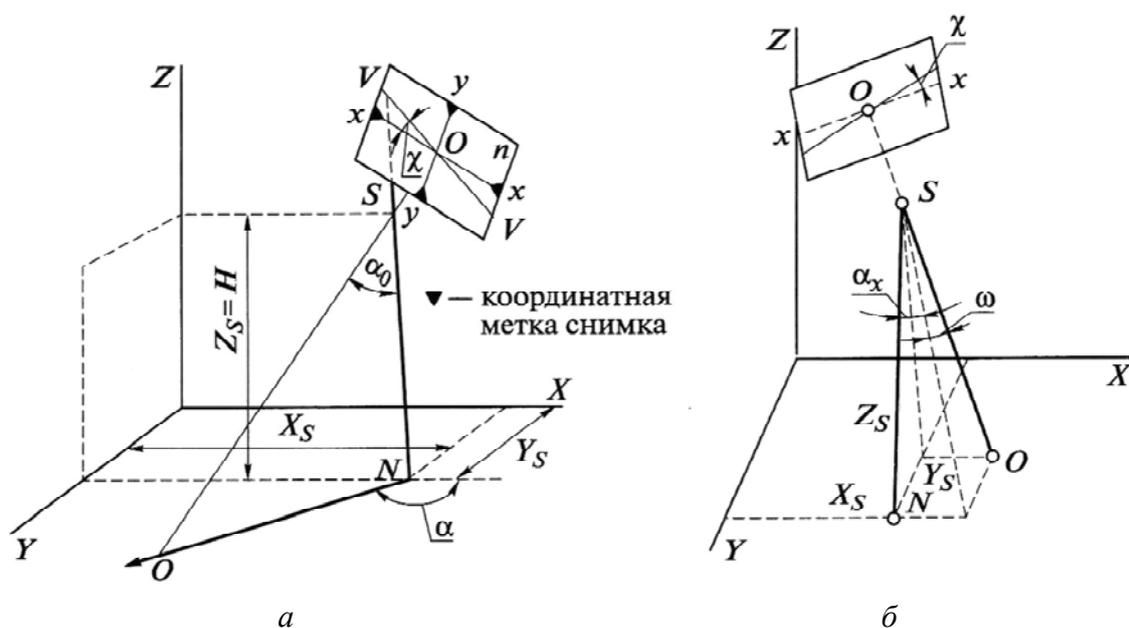


Рис. 14. Системы внешнего ориентирования аэрофотоснимков: *a* — первая; *б* — вторая

Первую систему используют при фотограмметрической обработке одиночных аэрофотоснимков, вторую — при обработке стереопар.

1.3.2. Цифровые формы

В аэрогеодезии нашли применение векторная и растровая формы представления цифровых изображений.

Векторная форма изображения представляет его посредством набора точек, ребер, дуг, граней, и т. д. Положение точек задают в выбираемой пользователем в зависимости от решаемой задачи системе координат. В фотограмметрии она не является основной и используется для представления конечных результатов.

Растровая форма изображения представляет его в виде матрицы (рис. 15), соответствующей плоскости исходного изображения и состоящей из одинаковых ячеек малого размера, являющихся наименьшими адресуемыми элементами — *пикселями*, каждый из которых характеризуется определенным набором оптических и радиометрических параметров: цветом, плотностью, яркостью и т. д.

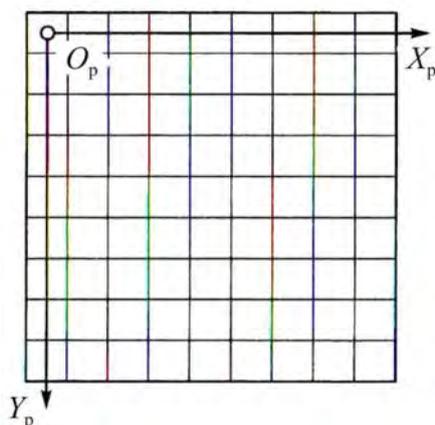


Рис. 15. Матричная форма представления раstra (система координат раstra)

Примерами растрового изображения являются традиционные фотоснимки, состоящие из совокупности зерен коллоидного серебра. Доступ к элементам растрового изображения (пикселям) осуществляется по номерам строк и столбцов матрицы. Начало координат O_p внутренней прямоугольной системы совпадает с первым элементом первой строки изображения, ось абсцисс X_p — с первой строкой, ось ординат Y_p — с первым столбцом (см. рис. 15).

В цифровой фотограмметрии растровое изображение получают непосредственно в процессе съемки местности с помощью цифровых камер или путем сканирования фотограмметрическим сканером материалов аэрофото-съемки.

Современные стереофотограмметрические приборы и цифровые фотограмметрические системы позволяют получать изображения объектов местности на аэрофотоснимках с точностью около $0,1...0,01$ мм и строить цифровые и математические модели местности, обеспечивающие необходимую точность проектно-изыскательских работ.

1.3.2.1. Растровые изображения

Растровые изображения можно получить:

- а) непосредственно в ходе аэро-съемки с использованием цифровых съемочных систем — *сенсоров*;
- б) посредством сканирования аналоговых фотоснимков или негативов, полученных в процессе аэрофото-съемки с помощью *фотограмметрических сканеров*.

Цифровое изображение фиксируется с помощью фотодиодов или приемников с зарядовой связью в форме ПЗС-матрицы или ПЗС-линейки, имеющих близкие технические возможности. Используя ПЗС-матрицу, формируют сразу весь кадр как в обычной аэрофотокамере (вместо фотопленки в фокальной плоскости объектива располагается ПЗС-матрица), применяя ПЗС-линейки сканируют местность линиями, перпендикулярными к направлению полета, с соответствующим размером элемента шагом геометрического размещения ([рис.16, а](#)).

Отсутствие продольных перекрытий сканерных снимков препятствует их фотограмметрической обработке, поэтому современные цифровые съемочные системы выдают информацию сразу с нескольких ПЗС-линеек, каждая из которых формирует изображение по определенному направлению. Например, цифровая система ASD40 имеет в фокальной плоскости три ПЗС-линейки (рис. 16, б), одна из которых обеспечивает получение информации по направлению вперед, вторая — в направлении вниз и третья — в направлении назад. Совместная обработка трех полос изображения обеспечивает получение продольного перекрытия и построение стереоскопических моделей.

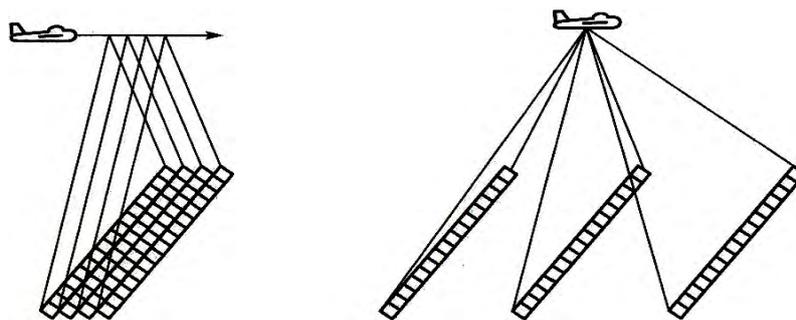


Рис. 16. Сканирование местности с записью результатов: а — на одну ПЗС-линейку; б — на три ПЗС-линейки

1.3.2.2. Исправление и геометрическое преобразование цифровых изображений

При фотограмметрической обработке аэроснимков возникает необходимость их преобразований, необходимых для улучшения читаемости и определенного изменения размеров изображений.

Первый вид преобразования является фотометрической коррекцией (оптическое преобразование) цифрового изображения, второй — его геометрическим преобразованием.

Фотограмметрическая коррекция изображения состоит в изменении яркости и контрастности изображения или характера соотношений между оптическими плотностями до и после их преобразования.

Изменение яркости и контрастности изображения выполняется в целях улучшения читаемости границ между смежными элементами. Увеличение контрастности осуществляется таким образом, что если оптическая плотность некоторого элемента изображения превышает среднее значение, то она увеличивается пропорционально уровню квантования, а если она меньше среднего, то соответственно уменьшается. Темные тона становятся еще более темными, светлые — еще более светлыми. В результате границы между элементами изображения становятся более четкими.

При этом чрезмерное увеличение контрастности преобразует полутоновое изображение в бинарное, а чрезмерное уменьшение ведет к его исчезновению.

Гамма-коррекция (тональная коррекция) изображения обычно выполняется в целях увеличения его детальности. Неправильное использование гамма-коррекции может привести к уменьшению числа полутонов и преобладанию одного тона.

При обработке цветных изображений нередко не только выполняют изменение яркости, контрастности или гамма-коррекцию, но и преобразуют соотношение цветов, получая нужные оттенки.

Геометрические преобразования растрового изображения изменяют его геометрическое разрешение и корректируют радиометрические характеристики. Необходимость таких преобразований возникает при трансформировании аэрофотоснимков по элементам внешнего ориентирования, в процессе которого изменяют масштаб изображения и положение его элементов относительно координатных осей.

Все геометрические преобразования являются или простыми, требующими только изменения геометрического разрешения, или сложными, в результате которых осуществляют изменение масштаба и поворот изображения.

Простые преобразования выполняют изменяя масштаб изображения соответствующим изменением геометрического разрешения. При этом каждому пикселю исходного изображения соответствует пиксель преобразованного с тем же или иным геометрическим разрешением. В результате формируется новая матрица, элементам которой присваивается радиометрическое разрешение соответствующего ему исходного изображения (рис. 17).

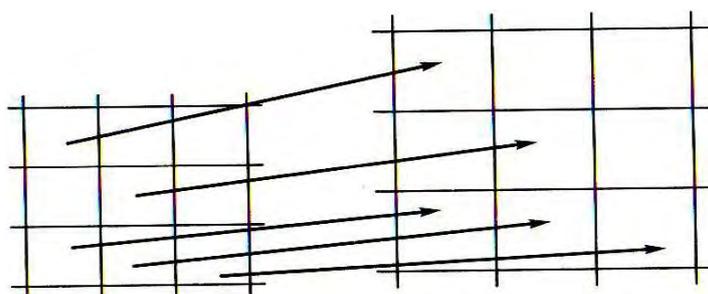


Рис. 17. Простые геометрические преобразования

Сложные преобразования выполняют при трансформировании изображений, когда коэффициент увеличения различных их частей неодинаков или когда выполняется определенный разворот изображения (рис. 18).

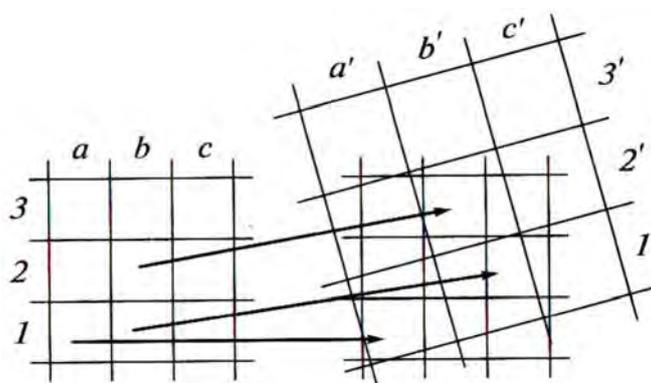


Рис. 18. Сложные геометрические преобразования

Координаты элементов формируемого изображения определяют по координатам элементов соответствующего ему исходного изображения, используя для этого формулы преобразования.

1.3.2.3. Построение и стереоскопическое измерение цифровых изображений

Как и при работе с аналоговыми аэрофотоснимками, главным условием получения стереоскопического эффекта является наблюдение каждого снимка стереопары в зоне взаимного перекрытия только одним глазом.

Основными способами получения стереоскопического эффекта по цифровым стереопарам являются анаглифический, затворный и оптический.

При *анаглифическом* способе образующие зону стереоскопических наблюдений перекрывающиеся части левого и правого изображений (рис. 19), окрашивают в различные цвета (например, сине-зеленый и красный) и выводят на экран так, чтобы четные строки совмещенного изображения принадлежали левому снимку, а нечетные — правому.

Полученное на экране монитора совмещенное изображение рассматривают через анаглифические очки со стеклами, окрашенными так же, как и изображения на снимках. При этом каждый глаз воспринимает только одно изображение, и наблюдатель видит пространственную (стереоскопическую) модель местности.

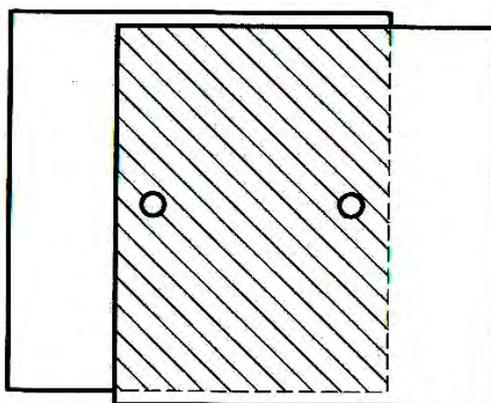


Рис. 19. Зона стереоскопических наблюдений стереопары

При *затворном* способе применяют специальные (жидкокристаллические) затворные очки с LCD-затворами (Liquid Crystal Display), в которых стекла в соответствии со сменой видеостраниц на экране монитора поочередно становятся прозрачными. Изображения левого и правого снимков отображаются на страницах видеопамати и выводятся на экран монитора.

В каждый момент времени наблюдатель воспринимает соответствующее изображение на экране монитора только одним (левым или правым) глазом. Поскольку на экране монитора смена страниц видеопамати синхронизирована с изменением прозрачности пластин затворных очков (с помощью специального канала связи), возникает прямой или обратный стереоэффект.

Смену прямого стереоэффекта на обратный и наоборот выполняют изменением фазы, определяющей последовательность вывода страниц видеопамати.

При *оптическом способе* стереоскопических наблюдений левый и правый снимки выводят в левую и правую части экрана. Для получения стереоскопического эффекта с помощью устанавливаемой перед монитором специальной стереоприставки производят искусственное разделение соответствующих лучей. В результате достигается возможность наблюдения стереоскопической модели местности и ее измерения, без неизбежного при использовании других способов и приспособлений снижения степени освещенности.

Измерение параметров объектов стереоскопических моделей выполняют монокулярным и стереоскопическим способами.

Монокулярный способ измерений применяют при внутреннем ориентировании снимков для нанесения на снимки опорных точек. Работа сводится к опознанию нужной точки наведением на нее маркера, заменяющего марку стереокомпаратора.

Считывание координат точки в системе растрового изображения и преобразование их в другую систему происходит в автоматическом режиме.

При *стереоскопическом способе* измерения осуществляют методом мнимой марки, в качестве которой используют курсор, настраиваемый по цвету, размеру и форме объекта.

I.4. Дешифрирование аэрофотоснимков

I.4.1. Дешифровочные признаки топографических объектов

Дешифрированием называется процесс распознавания на аэрофотоснимках объектов местности и выявление их качественных и количественных характеристик. Выполняют топографическое и специальное дешифрирование.

При *топографическом дешифрировании* определяют параметры объектов и рельефа земной поверхности. Топографическое дешифрирование, проводимое на фотосхемах, фотопланах или непосредственно на аэрофотоснимках, служит для выявления топографических и инженерно-геологических условий местности в районе изысканий и позволяет установить целесообразность планирования строительства и оптимальные технико-экономические показатели проектируемых сооружений. Чем крупнее масштаб аэрофотоснимка, тем больше объектов, их деталей и характеристик можно определить при дешифрировании. Объекты, изображения которых составляют десятые и сотые доли миллиметра, как правило, могут быть опознаны лишь по косвенным признакам или специальными приборами — интерпретоскопами, обеспечивающими увеличение до 15 раз ([рис. 20](#)).

Характерные черты и особенности фотоизображений различных элементов местности и объектов, обуславливающие возможность их опознания или раскрытия содержания, называются *дешифровочными признаками*.

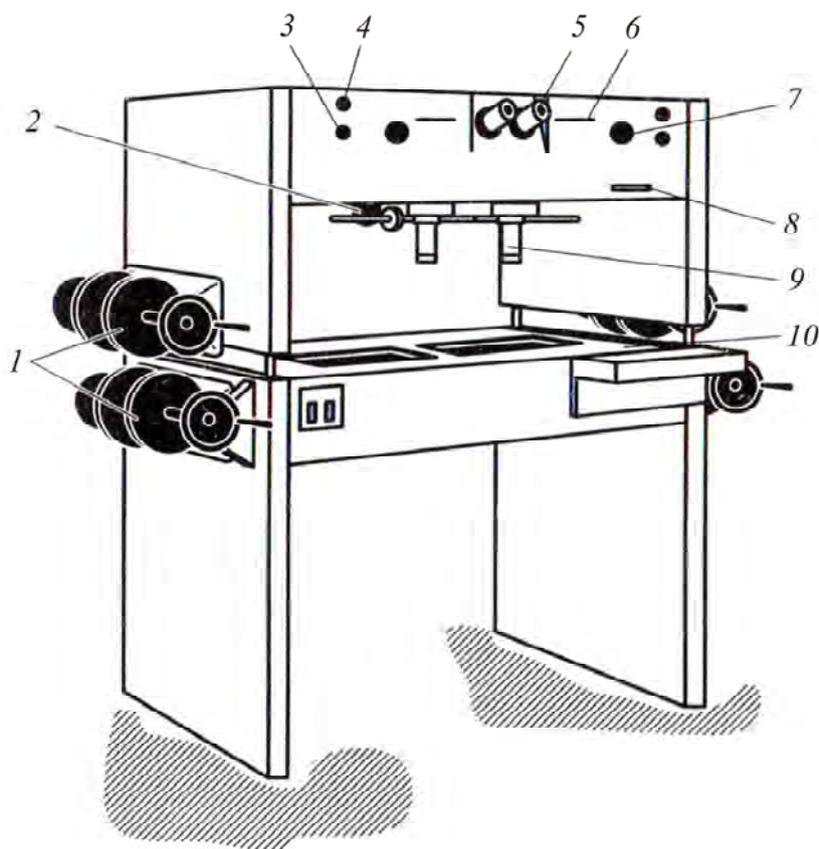


Рис. 20. Интерпретоскоп: 1 — катушка для фильма; 2 — отсчетное устройство; 3 — винт оптического поворота изображения; 4 — регулятор яркости изображения; 5 — бинокляр; 6, 7 — соответственно шкала и винт изменения увеличения; 8 — шкала продольных параллаксов; 9 — объектив; 10 — стол

Используют прямые и косвенные признаки дешифрирования. К прямым относятся форма, размеры, тон, цвет, яркость поверхности объекта и своеобразие распределения тоналностей по его поверхности, к косвенным — отразившиеся на аэрофотоснимках взаимосвязи между явлениями и объектами: растительностью и почвами, растительностью и уровнем грунтовых вод, между формами рельефа и интенсивностью процессов в водной эрозии, дефляции, выветривания и т. д. По характеру растительного покрова можно судить о почвенно-грунтовом и гидрогеологическом строении местности, по очертанию русел рек в плане о типе руслового процесса, по количеству и форме стариц в поймах — о направленности и интенсивности процессов заболачивания и т. д.

1.4.2. Технологии дешифрирования

Дешифрирование разделяют на камеральное, полевое и комбинированное.

Камеральное дешифрирование основано на использовании дешифровочных признаков, раскрывающих содержание, характер объектов и контуров местности. К таким признакам относятся форма и размеры изображения, тон и цвет. Главным и наиболее надежным дешифровочным признаком большинства объектов является форма их изображений на аэрофотоснимках.

Дополнительную информацию, учитывающую количественные характеристики, дают размеры изображаемых на аэрофотоснимках объектов. Тон изображения объекта в сочетании с другими признаками обеспечивает повышение надежности дешифрирования по основным признакам.

При камеральном дешифрировании кроме материалов аэрофотосъемок применяют и другие материалы, содержащие топографическую, инженерно-геологическую и другие виды информации.

Полевое дешифрирование, выполняемое после камерального, состоит в непосредственном опознавании на местности изображенных на аэрофотоснимках объектов и их особенностей. Обладая наибольшей полнотой и достоверностью, оно требует непосредственного посещения местности, поэтому трудоемко и дорого.

При изысканиях и проектировании автомобильных дорог для уменьшения трудоемкости выделяют участки-эталоны, обладающие приблизительно однотипными характеристиками по топографическим, инженерно-геологическим и экономическим условиям, устанавливаемым по свойственным им геофизическим, ботаническим и геоморфологическим признакам.

Выполняя *комбинированное дешифрирование*, используют возможности камерального и полевого дешифрирования. В камеральных условиях определяют бесспорно опознаваемые объекты местности и их характеристики. Остальную информацию (названия населенных пунктов, дорог, рек, озер, глубины бродов, состояние дорожных покрытий, водопропускных сооружений на дорогах и т. д.) получают на основе дополнительных полевых наземных и воздушных обследований. При этом полевое обследование выполняют лишь на отдельных характерных участках местности — эталонах. После изучения материалов камерального дешифрирования, топографических карт, планов и других имеющихся материалов уточняют непосредственно на местности результаты камеральных работ, выявляют отсутствие на аэрофотоснимках значимых объектов местности и производят в необходимых местах инженерно-геологические обследования. При необходимости прибегают к аэровизуальному дешифрированию с использованием вертолетов и высадкой в отдельных местах изыскательских групп для уточнения геоморфологических и геоботанических признаков объектов аэрофотоснимков и взятия образцов грунта. В процессе облета трассы на малой высоте контролируют результаты камерального дешифрирования и пополняют их ранее не выявленными на аэрофотоснимках необходимыми элементами.

Населенные пункты на аэрофотоснимках представляются сочетанием четких рядов прямоугольников, изображающих кварталы застройки, и линий проезжей части улиц. Заборы и изгороди имеют вид окаймляемых тенью, сравнительно тонких линий, тропинки отображаются в виде тонких светло-серых линий, проселочные дороги — более широкими извилистыми линиями с широкими неровными краями, автомобильные дороги — очень светлыми полосами одинаковой ширины, обрамленными светлыми полосами (обочинами, кюветами) с геометрически правильными закруглениями. Дешифриро-

вание железных дорог выполняется по светлым узким полосам с очень плавными закруглениями и прилегающим широким полосам (полосам отвода) с узкими полосками защитных лесонасаждений. Мосты на дорогах дешифрируются по изменению ширины полотна и тенями опор пролетных строений.

Пашни обычно выделяются прямолинейными границами часто с лесными полосами и имеют различные тона изображения в зависимости от типа почвы, вида посевов, степени зрелости выращиваемой культуры и увлажненности почвы (рис. 21).

Сухие лога на снимках имеют светло-серый ровный тон, огороды представляются чередованием темных и светлых узких полос.

Леса, кустарники и лесные полосы на аэрофотоснимках имеют очерченную зернистую поверхность и характерные тени на опушках и полянах. Тени крон отдельных лиственных деревьев имеют характерную округлую форму.

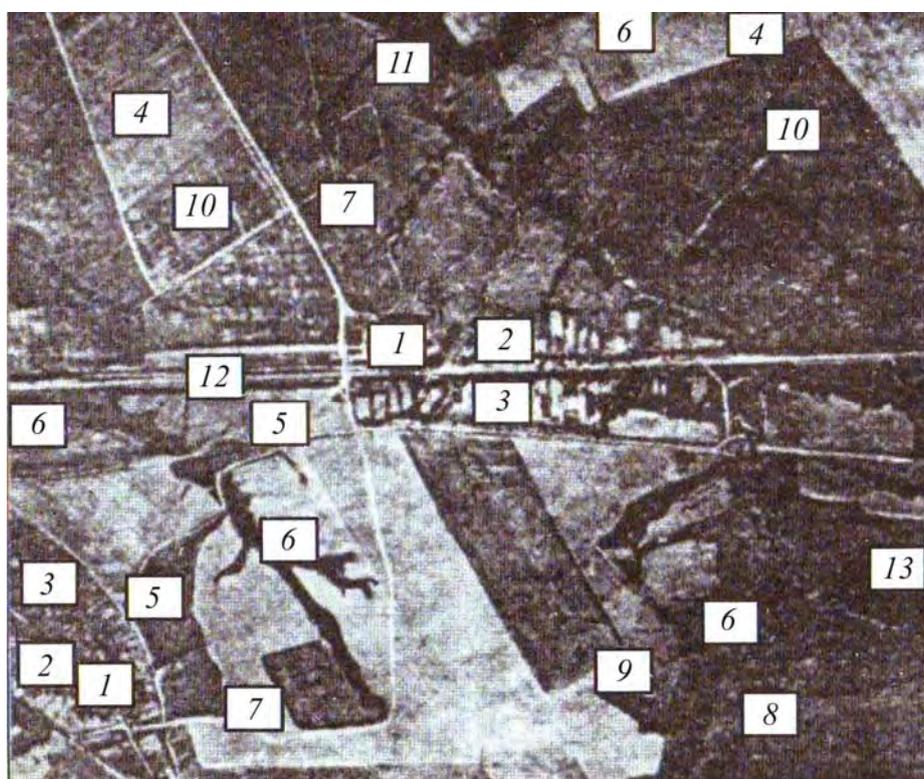


Рис. 21. Сельскохозяйственная территория на аэрофотоснимке: 1 — сельский поселок; 2 — здания; 3 — огороды; 4 — пашня; 5 — лесонасаждения; 6 — овраги; 7 — полевая дорога; 8 — лесная просека; 9 — заросли кустарника; 10 — увлажненная почва пашни; 11 — ручей; 12 — автомобильная дорога; 13 — лесной массив

Хвойные леса характеризуются более темными, чем лиственные, тонами. Тени елей имеют конусовидную вытянутую форму, сосен — неправильную форму. Для точного определения породного состава лиственных, хвойных и смешенных лесов применяют спектрзональные снимки.

Меандрирующие реки на аэрофотоснимках представляются в виде темных извилистых полос с четкими следами перемещения русла по пойме (рис. 22) и серпообразными старицами.

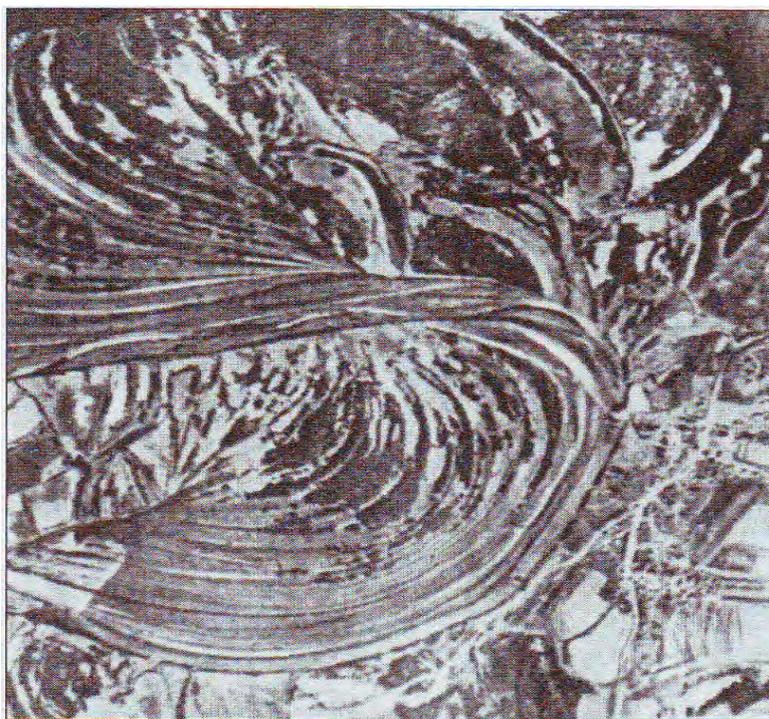


Рис. 22. Участок русла меандрирующей реки

Кустарники имеют более светлый тон, короткие тени. Сады бывают представлены четкими рядами черных точек. Крутые скаты опознаются по различию в освещенности (значительно более светлому тону на солнечной экспозиции и более темному на противоположной). Линии связи и электропередач на залесенной местности опознаются по наличию широких просек, а на открытых местах — по теням от опор. Водоемы имеют на снимках черный цвет, заметно осветляющийся в местах с песчаным руслом, а также при поверхности, покрытой рябью от ветра. Более светлый тон имеют также отмели (броды).

Опознавание пунктов опорной геодезической сети на аэроснимках масштаба 1: 50000 проблематично, при масштабе 1: 35000 их можно выявить по наличию незапаханных под ними площадей, 1: 18000 — по тени от сигнала или пирамиды, 1: 8000 и крупнее — непосредственно по их изображению.

По характерным признакам рельефа на стереоскопических моделях устанавливают развитие неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений (карст, оползни, осыпи, выход грунтовых вод на склонах и т. д.). При аэрогеологических изысканиях целесообразно использование материалов, цветных, спектрзональных, многозональных и тепловых аэросъемок. На аэрофотоснимках четко выделяются выходы различных горных пород, отслеживается развитие эрозионных процессов в виде сети оврагов, промоин, ручьев.

На водоразделах песчаники образуют холмистые гряды, а на склонах — карнизы и уступы. Дефляционные процессы пустынных и полупустынных районов создают характерные структурные формы рельефа: отдельные барханы, барханные цепи, песчаные гряды, бугристые пески ([рис. 23](#)).

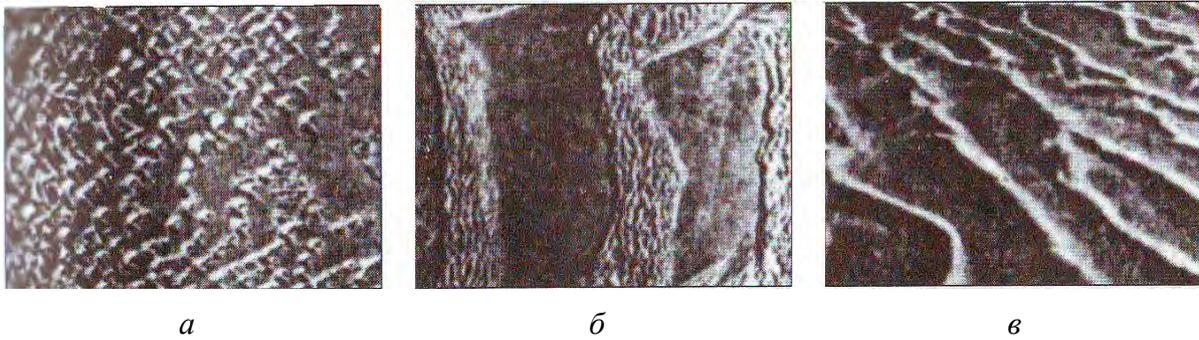


Рис. 23. Характерные типы рельефа подвижных песков на аэроснимках: *а* — барханы (с высоты 300 м); *б* — барханные цепи (с высоты 3 000 м); *в* — грядовые пески

На фоне других горных пород известняки и доломиты на аэрофотоснимках выделяются светлыми тонами.

Наличие эффузивных пород устанавливают по цвету и формам рельефа, характеризуемым наличием скальных выступов, уступов, карнизов и площадок на водоразделах.

Поиск местных дорожно-строительных материалов обычно выполняют в пределах полосы шириной 10...20 км вдоль автомобильной дороги или около мостового перехода, используя для этой цели имеющиеся материалы аэрофотосъемок и космических съемок.

При изысканиях строительства больших мостовых переходов, возводимых с применением средств гидромеханизации, изучается возможность создания карьеров нерудных строительных материалов в руслах рек на русловых элементах (островах, побочнях и т. д.), расположенных, как правило, ниже строящегося объекта. Они обычно хорошо просматриваются на аэрофотоснимках, по которым можно определять объемы возможной добычи песка, гравия или гравийно-песчаной смеси.

Четко обозначаются на аэрофотоснимках существующие карьеры дорожно-строительных материалов и разрабатываемые резервы грунта.

1.5. Трансформирование аэрофотоснимков. Создание фотопланов

1.5.1. Методы трансформирования аэрофотоснимков и преобразование систем их координат

Трансформирование — это преобразование изображения аэрофотоснимка, полученного при наклонном положении оптической оси АФА, в изображение, соответствующее ее отвесному положению, с одновременным приведением изображения к заданному масштабу.

Сущность трансформирования состоит в преобразовании проекции аэрофотоснимка, имеющего наклон в момент съемки, в проекцию, соответствующую горизонтальному положению аэрофотоснимка при запланированной высоте фотографирования. В процессе трансформирования сводят к минимуму искажения, связанные с рельефом местности.

Введение корректив в положение точек снимка, смещенных из-за рельефа местности, является одной из наиболее трудных задач фотограмметрии. Для ее решения производят разложение изображений на отдельные точки или зоны и отдельно трансформируют их с учетом высоты фотографирования.

Методы трансформирования аэрофотоснимков подразделяют на две группы: 1) трансформирование по геодезическим координатам опорных точек; 2) трансформирование по элементам внутреннего, взаимного и внешнего ориентирования.

Трансформирование аналоговых аэрофотоснимков может быть выполнено аналитическим, фотомеханическим, оптико-графическим или дифференциальными способами.

Суть *аналитического способа* трансформирования состоит в определении координат точек горизонтального снимка по измеренным координатам наклонного снимка или по известным координатам соответственных точек местности.

При *фотомеханическом способе* выполняется преобразование центральной проекции наклонного снимка в центральную проекцию горизонтального снимка на специальном оптико-механическом приборе — фототрансформаторе.

При *оптико-графическом способе* трансформирования, полученное с помощью специальных приборов (проекторов) трансформированное изображение на листе бумаги обводят карандашом и оформляют условными знаками (применяется при обновлении топографических или специальных карт предприятиями негеодезического профиля).

Дифференциальный способ трансформирования (ортофототрансформирование) состоит в преобразовании отдельных фрагментов исходного изображения с учетом высот их центров над средней плоскостью снимка и элементов внешнего ориентирования. Реализуется на универсальных стереофотограмметрических приборах или в процессе компьютерной обработки.

В настоящее время происходит переход к применению *цифрового ортофототрансформирования*, в результате которого в соответствии с высотой трансформируется каждый пиксель цифрового исходного изображения. В итоге получают ортофотоснимок или ортофотоплан.

Значения координат большинства точек наклонного и горизонтального снимков одного и того же участка местности не совпадают. Переход от системы координат наклонного снимка к системе координат горизонтального снимка (рис. 24) выполняют через вспомогательные системы координат, параллельные уже названным, но имеющие общую точку начала координат в центре проекций каждого снимка S (рис. 25).

Для преобразования вспомогательной системы координат наклонного аэрофотоснимка с общим центром проекций x, y, z в соответствующую ей вспомогательную систему координат горизонтального снимка x^0, y^0, z^0 выполняют последовательный поворот осей координат наклонного аэрофотоснимка на угловые элементы внешнего ориентирования χ, ω, α (рис. 26).

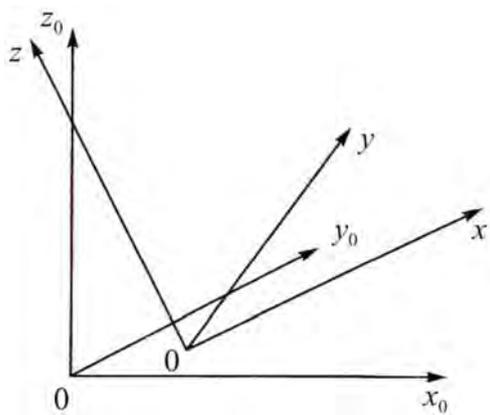


Рис. 24. Схема расположения осей координат наклонного и горизонтального аэрофотоснимков

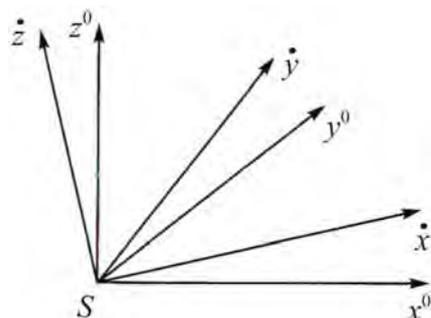


Рис. 25. Схема осей вспомогательных систем координат с общим началом в центре проекций (центре объектива)

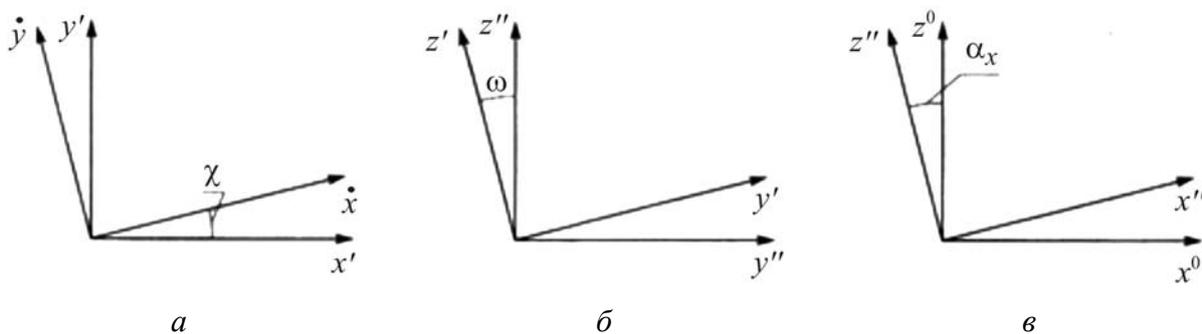


Рис. 26. Схема поворотов координатных осей по элементам внешнего ориентирования аэрофотоснимков: *a* — повороты по осям x, y ; *б* — повороты по осям y, z ; *в* — повороты по осям x, z

Поворот вспомогательной системы координат наклонного аэрофотоснимка вокруг оси z на угол χ преобразует координаты точек следующим образом:

$$x' = x \cos \chi - y \sin \chi; \quad y' = x \sin \chi + y \cos \chi; \quad z' = z.$$

Последующий поворот полученной системы координат вокруг оси абсцисс x' на угол ω устанавливает координаты

$$y'' = y' \cos \omega - z' \sin \omega; \quad z'' = y' \sin \omega + z' \cos \omega; \quad x'' = x'.$$

Поворот вокруг оси ординат y'' на угол α определит координаты вспомогательной системы координат горизонтального аэрофотоснимка следующим образом:

$$x^0 = x'' \cos \alpha - z'' \sin \alpha; \quad z^0 = x'' \sin \alpha + z'' \cos \alpha; \quad y^0 = y''.$$

Вводя в последние формулы значения предыдущих выражений, получают математические зависимости между вспомогательными системами координат горизонтального и наклонного аэрофотоснимков.

Эти окончательные зависимости используются в качестве основы аналитического компьютерного трансформирования аэрофотоснимков цифровыми фотограмметрическими системами.

1.5.2. Фототриангуляция

В процессе камеральных работ выполняется стереофотограмметрическая обработка аэрофотоснимков с последующим получением топографических планов и цифровых моделей местности. Используют трансформированные аэрофотоснимки — ортофотоснимки, избавленные от искажений и приведенные к одному масштабу.

Для трансформирования и монтажа аэрофотоснимков у каждого из снимков необходимо определить координаты не менее четырех опознаков (трех — для выполнения трансформирования и одного — для контроля). Эта работа весьма трудоемка, поэтому на практике ограничиваются минимальным числом опознаков, а дальнейшее сгущение опорных контурных точек осуществляют камерально (с минимальными трудозатратами).

Процесс сгущения в камеральных условиях, необходимых для трансформирования аэрофотоснимков опорных контурных точек, называется *фототриангуляцией*.

В основе метода плановой фототриангуляции положено свойство аэрофотоснимков, состоящее в том, что углы между направлениями, проведенными из точки нулевых искажений (точки надира), равны горизонтальным углам между теми же направлениями на местности.

При плановой аэрофотосъемке равнинной местности вместо точки надира можно использовать главную точку снимка или другую четкую точку, находящуюся от главной на расстоянии, не превышающем $\frac{f_k}{50}$ (где f_k — фокусное расстояние объектива АФА). Эта используемая контурная точка называется *центральной*. На аэрофотоснимках горных районов при выполнении фототриангуляции в качестве вершины углов обязательно принимают точку надира.

Для построения маршрутной фототриангуляции по аэрофотоснимкам продольное перекрытие должно быть не менее 60 %. На каждом аэрофотоснимке будет *зона тройного перекрытия* и главная точка каждого снимка будет находиться и на двух смежных снимках ([рис. 27](#)).

На каждом снимке накалывают центральную (или главную) точку и центральные точки соседних аэрофотоснимков. Линии, соединяющие эти точки на каждом снимке, являются *базисами*. В зоне тройного перекрытия выбирают четкие контурные точки 1, 2, 3, 4, называемые *связующими* ([рис. 27, б](#)). Из центральной точки каждого снимка проводят направления на все связующие точки ([рис. 27, а](#)).

На листе бумаги вычерчивают линию первого базиса (например, O_1, O_2) и с помощью прозрачной бумаги переносят с аэрофотоснимков направления на связующие точки, прочерченные с концов этой линии. Пересечения соответствующих направлений определяют трансформированное плановое положение связующих точек 1, 2, 3, 4 и т. д. ([рис. 27, в](#)). В результате будет получена сеть неориентированной плоской триангуляции в масштабе базиса O_1, O_2 .

При трансформировании аэрофотоснимков и составлении фотопланов ее приводят к заданному масштабу и ориентируют относительно принятой системы координат — редуцируют. Редуцирование возможно только при наличии в сети не менее двух точек с координатами, полученными в результате наземных геодезических работ и расположенными в начале и конце триангуляционной сети. В настоящее время происходит переход от описанной графической фототриангуляции к аналитической, с использованием специального программного обеспечения и компьютерной обработки.

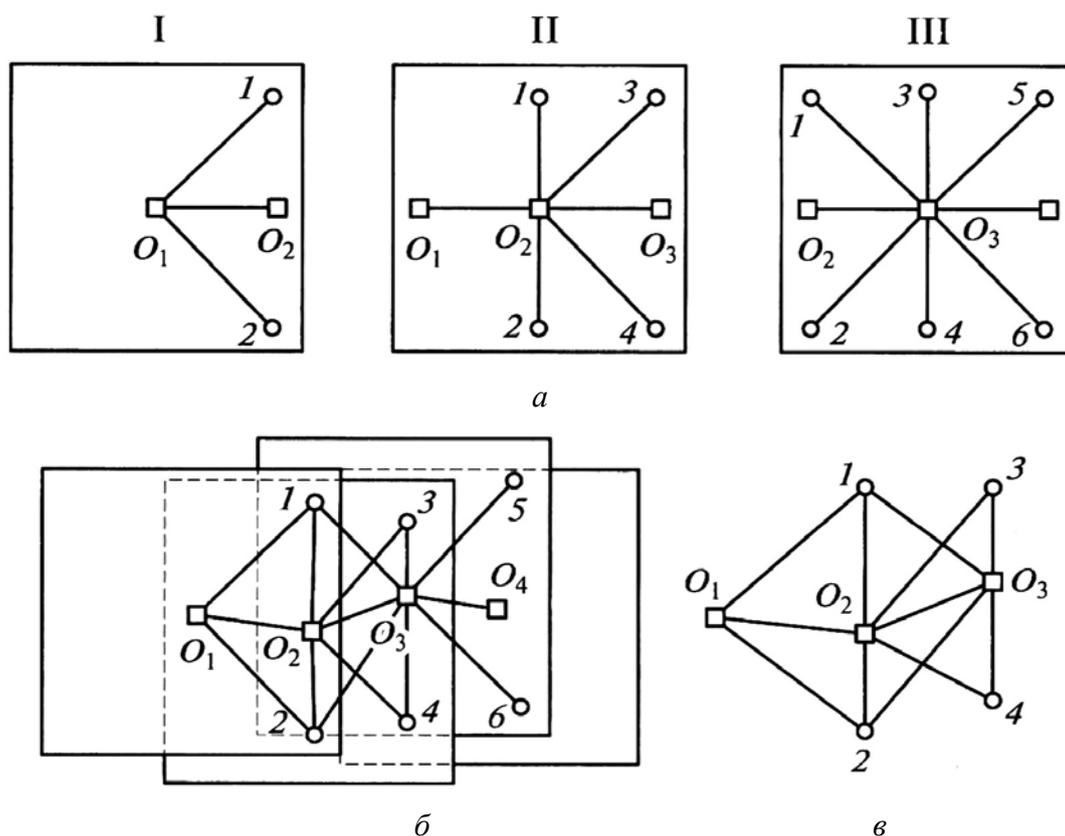


Рис. 27. Схема построения маршрутной фототриангуляции: *a* — центральные точки снимков с поперечными направлениями; *б* — базис O_1O_2 ; *в* — построение на плане базиса и контурных опорных точек

1.5.3. Фотомеханическое трансформирование

Фотомеханическое трансформирование выполняют специальными оптико-механическими приборами — фототрансформаторами, позволяющими проводить преобразование центральной проекции наклонного аэрофотоснимка в эту же проекцию горизонтального снимка заданного масштаба.

При трансформировании восстанавливается положение аэрофотоснимка, которое он занимал относительно плоскости местности в момент фотографирования. Устройство фототрансформатора приведено на [рис. 28](#). Специальные устройства — *инверсоры* обеспечивают автоматическое сохранение резкости изображения при перемещении кассеты, объектива и экрана относительно друг друга.

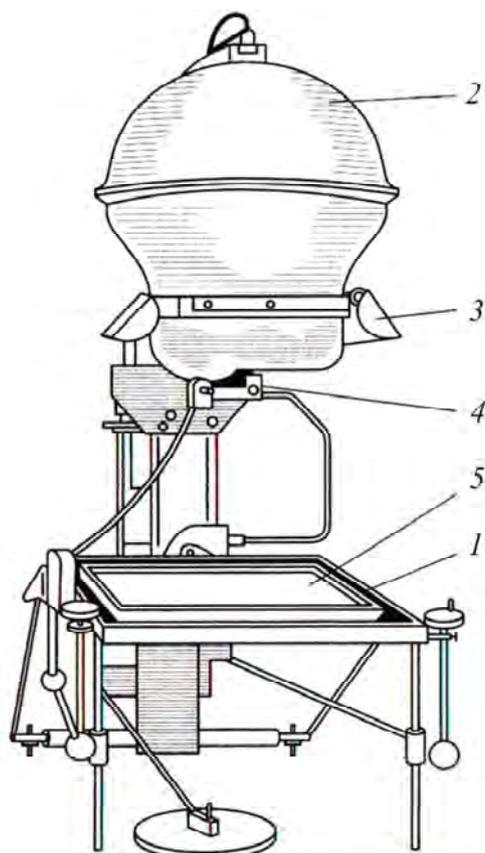


Рис. 28. Общий вид фототрансформатора: 1 — станина; 2 — осветитель; 3 — кассета; 4 — объектив; 5 — экран

Необходимый масштаб трансформируемого снимка устанавливают изменением расстояния объектива фототрансформатора от экрана.

Фотомеханическое трансформирование выполняют по опорным точкам фототриангуляционной сети или по известным элементам внешнего ориентирования каждого аэрофотоснимка.

При проведении работы первым способом совмещают четыре контурные (опорные) точки на негативе с четырьмя соответствующими точками, полученными в ходе фототриангуляции на основе. При этом относительно снимаемой местности негатив занимает положение, соответствующее тому, которое у него было в момент фотографирования. Заменяв на экране фототрансформатора основу с контурными точками фототриангуляции на фотобумагу, выполняют экспонирование и получают приведенный к заданному масштабу аэрофотоснимок, не имеющий искажений из-за наклона оптической оси АФА. При расположении контурных точек на разной высоте, когда смещение за рельеф превышает 0,4 мм, их плановое положение корректируют, вводя поправки за рельеф местности.

В настоящее время этот вид трансформирования получает все более широкое распространение в связи с использованием в современных технологиях аэросъемок интегральных навигационных комплексов прямого геопозиционирования GPS/IMU, регистрирующих в режиме реального времени шесть элементов внешнего ориентирования АФА.

При аэроизысканиях пересеченной местности для соблюдения оптических и геометрических условий (обеспечение получения на экране резкого геометрически правильного изображения) трансформирования работу выполняют по зонам, ориентируя их по угловым и линейным установочным элементам.

1.5.4. Фотосхемы и фотопланы

Для удобства работы с материалами аэросъемок значительных площадей (площадных аэросъемок) отдельные аэрофотоснимки объединяют в фотосхемы, фотопланы и фотокарты.

Фотосхема — это полученное в результате монтажа рабочих площадей нетрансформированных аэрофотоснимков сплошное фотографическое изображение участка местности.

Составляют фотосхемы:

- одномаршрутные — из аэрофотоснимков одного маршрута;
- многомаршрутные — из снимков нескольких маршрутов;
- контактные — имеющие масштаб, равный масштабу снимков;
- масштабированные — приведенные к определенному масштабу увеличением или уменьшением размеров аэрофотоснимков;
- свободные — созданные без использования данных геодезической системе координат;
- каркасные, монтируемые на основе сети опорных точек.

Фотосхемы для проектирования автомобильных дорог создают путем наклейки на основу вырезанных рабочих площадей аэрофотоснимков в границах полосы варьирования трассы. В качестве основы используют картон или тонкую фанеру.

Фотосхемы используют:

- для дешифрирования аэрофотоснимков;
- предварительного трассирования автомобильных дорог;
- выбора мест мостовых переходов;
- предварительной оценки влияния проектируемых дорог, мостовых переходов и аэродромов на другие народно-хозяйственные объекты;
- решения экономических задач транспортного строительства и экологических проблем;
- в качестве топографической основы ГИС.

Фотопланом называется уменьшенное фотографическое изображение участка местности, соответствующее точности топографических планов и карт, полученное из трансформированных аэрофотоснимков.

Преимуществами фотоплана по сравнению с топографическим планом являются его высокая информационная емкость и наглядность.

Снимки фотоплана, как и фотосхемы, монтируют на картоне или тонкой фанере, а в местах опорных точек пуансоном пробивают отверстия. Монтаж фотоплана выполняют помаршрутно. Для его выполнения после проверки контрольными проколами совмещения одноименных контуров смежных

снимков (допустимое смещение — до 0,5 мм) оба снимка разрезают скальпелем по средней части перекрытия и приклеивают к основе. Затем производят монтаж следующего снимка и т. д.

По окончании монтажа первого и второго маршрутов делают общий разрез посередине поперечного перекрытия. Аналогично монтируют последующие маршруты.

Фотоплан обрезают по рамке трапеции и оставляют за рамкой поля определенной ширины. После завершения монтажных работ выполняют корректуру фотоплана посредством оценки смещения одноименных контуров по линиям порезов между снимками, по рамкам соседних трапеций и по опорным точкам (рис. 29). Затем осуществляют окончательное оформление фотоплана.

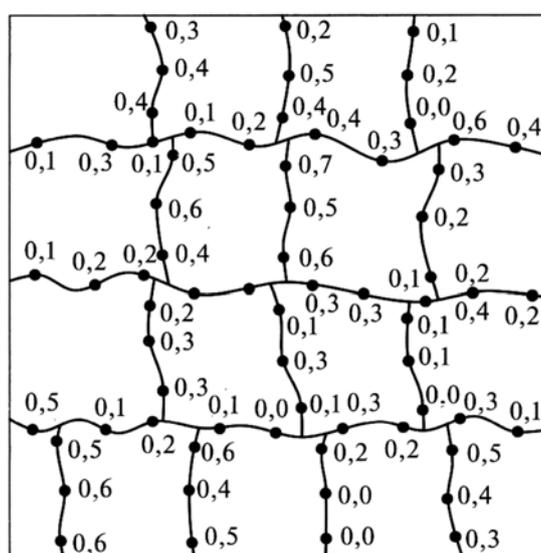


Рис. 29. Корректирующий лист фотоплана

Для улучшения читаемости фотоплана на нем наносят координатную сетку и проводят горизонталы. Показывают принятыми условными знаками наиболее значимые объекты местности (населенные пункты, автомобильные и железные дороги и т. д.). Фотоплан, сочетающий в себе преимущества фотоплана и топографической карты, называется *фотокартой*.

1.5.5. Фотограмметрическое сканирование

Цифровые изображения местности можно получить сканированием фотограмметрическими сканерами аэронегативов или аэрофотоснимков, полученных с использованием аналоговых АФА, или выполнением аэросъемки цифровыми съемочными системами (сенсорами).

Сканирование аэронегативов и аэрофотоснимков выполняется с помощью специальных оптико-электронных приборов — фотограмметрических сканеров. Они характеризуются высоким геометрическим разрешением (менее 10 мкм) и высокой геометрической точностью. С их помощью можно сканировать как черно-белые (полутонные), так и цветные снимки.

Некоторые фотограмметрические сканеры дают возможность сканирования аэронегативов с неразрезанных аэрофильмов.

В последнее время в цифровой фотограмметрии находят применение прошедшие калибровку офисные (бытовые) сканеры. Сущность работы состоит в сканировании бытовым сканером контрольной сетки с нанесенными на нее горизонтальными и вертикальными штрихами, расстояния между которыми известны с точностью 1...2 мкм. На полученном изображении определяют «пиксельные» координаты x_p , y_p крестов контрольной сетки, вычисляют расстояния между ними и сравнивают полученные значения с известными фактическими расстояниями между перекрестиями. По найденным разностям координат соответствующих точек строят *поле искажений*. В дальнейшем изображения, полученные сканером, исправляют в соответствии с параметрами поля искажений.

I.6. Стереофотограмметрическая обработка аэрофотоснимков

I.6.1. Универсальные стереофотограмметрические приборы

Универсальные стереофотограмметрические приборы предназначены для создания стереоскопических моделей по фотоснимкам местности и определения на этих моделях параметров контуров и рельефа местности. Их подразделяют на аналоговые, аналитические и цифровые.

Аналоговые стереофотограмметрические приборы имеют конструкции, основанные на построении стереоскопических моделей: оптическими, механическими и оптико-механическими видами засечек:

1. **Оптические универсальные стереофотограмметрические приборы** имеют по две проектирующие камеры, восстанавливающие направления связей лучей, которые применялись при съемке одного и того же участка местности с разных точек. Стереоскопические модели создаются пересечением соответствующих лучей в пространстве модели. Приборы представлены мультиплексами, двойными проекторами и т. д.

2. **Механические универсальные стереофотограмметрические приборы** имеют конструкцию, основанную на аналогичном принципе, но в двух проектирующих камерах. Оптические лучи заменяются двумя стержнями или линейками. Приборы представлены стереопроекторами, стереографами, стереоетрографами и т. д.

3. **Оптико-механические приборы** также имеют две проектирующие камеры, в которых связки лучей восстанавливаются оптическими средствами, а стереоскопическая модель строится при помощи двух вращающихся вокруг центров стержней. К ним относятся стереопланиграфы.

Конструкции всех аналоговых стереофотограмметрических приборов строятся по треугольным и треугольно-параллелограммным схемам.

Треугольную конструктивную схему применяют в оптических стереофотограмметрических приборах с размещением центров проекций в точках S_1 и S_2 (рис. 30), треугольно-параллелограммную — в стереофотограмметрических приборах механического и оптико-механического типов.

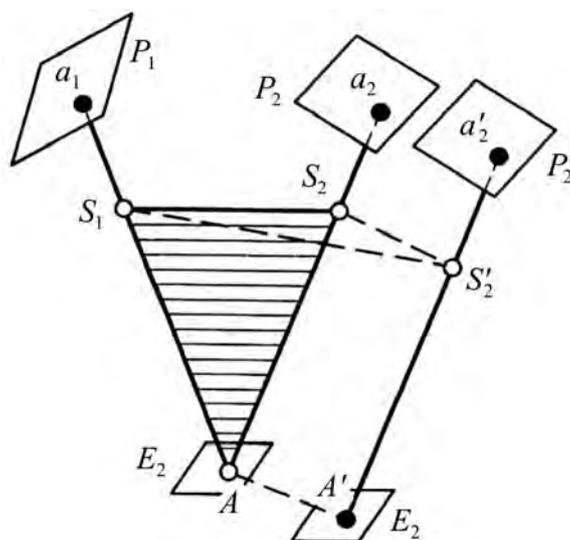


Рис. 30. Схемы пространственной фотограмметрической засечки в аналоговых универсальных стереофотограмметрических приборах

Аналитические приборы представляют собой комбинацию стереофотограмметрического оптико-механического прибора (стереокомпаратора) и компьютера. Данные автоматического считывания отсчетов стереокомпаратора поступают в компьютер и используются для решения уравнений связи между координатами точек снимков и местности и последующего создания топографических планов, ортофотопланов, а также составления каталогов плановых координат и высот точек. Из аналитических приборов наиболее распространение получил стереоанаграф.

Цифровые фотограмметрические системы (ЦФС) — это цифровые компьютерные комплексы, выполняющие стереообработку аналоговых и цифровых наземных, аэро- и космических снимков центральной, панорамной и сканерной проекций.

Наибольшее распространение в России получили полнофункциональные цифровые фотограмметрические системы Photomod, «Дельта» и «Талка»:

1) ЦФС Photomod дает возможность обработки наземных, аэро- и космических аналоговых и цифровых снимков центральной проекции, полученных различными съемочными системами и неметрическими (любительскими) камерами, а также материалов радиолокационных съемок и оптико-электронного сканирования;

2) ЦФС «Дельта» выполняет обработку наземных, аэро- и космических аналоговых и цифровых снимков центральной, панорамной и сканерной проекций и используется при решении геодезических, фотограмметрических и ряда специальных задач в землеустройстве, лесоустройстве, инженерных изысканиях и т. д.;

3) ЦФС «Талка» является наиболее универсальной полнофункциональной цифровой фотограмметрической системой, предназначенной для решения задач топографо-геодезического производства и различного рода изысканий, выполняет обработку цифровых и аналоговых аэро- и космических снимков центральной проекции, а также материалов оптико-электронного сканирования.

В нашей стране наибольшее распространение получили универсальные стереофотограмметрические оптико-механические приборы: стереопроекторы, стереографы, стереометрографы.

Стереопроектор СПР-3 (рис. 31) — универсальный стереофотограмметрический прибор механического типа первого класса точности, используемый для обработки аэрофотоснимков размером 18×18 см. Прибор предназначен для составления и обновления топографических карт, а также построения пространственных фотограмметрических сетей по плановым аэрофотоснимкам. Работа прибора основана на механических засечках точек с неподвижных центров проекций с помощью высокоточных стержней. Результаты обработки аэрофотоснимков с рисовкой контуров и рельефа местности отображаются на экране 6 или на подключаемом к прибору координатографе.

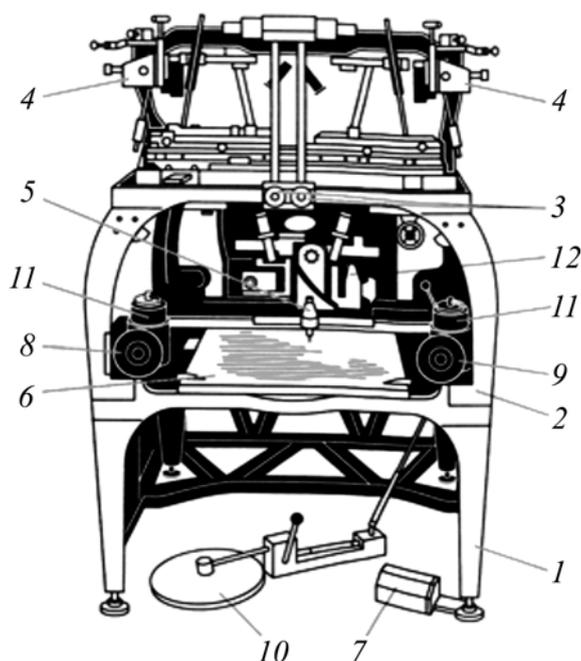


Рис. 31. Стереопроектор СПР-3: 1 — опорная рама; 2 — станина; 3 — бинокулярная система; 4 — коррекционные механизмы; 5 — карандашное устройство; 6 — экран; 7 — ножная педаль управления карандашным устройством; 8 — штурвал X; 9 — штурвал Y; 10 — ножной штурвал Z; 11 — счетчики координат X, Y; 12 — счетчик высот Z

Искажения снимков, образовавшиеся из-за отклонения оси АФА от отвесного положения, устраняются автоматически специальными коррекционными механизмами 4. В нижней части прибора находятся опорная рама 7 и станина 2, на которой размещены направляющие каретки ординат. При штурвалах 8 (X) и 9 (Y) имеются счетчики координат 11. Передвижение ка-

ретки высот производится ножным штурвалом 10 (Z). Счетчик высот 12 фиксирует значения высот точек местности. Скрепленный с кареткой абсцисс суппорт карандашного устройства 5 может подниматься и опускаться с помощью ножной педали 7.

Стереограф СД-3 (рис. 32) — универсальный стереофотограмметрический прибор второго класса точности, предназначенный для стереофотограмметрической обработки плановых аэрофотоснимков формата 18×18 см. Трансформирование точек снимка выполняется в момент их наблюдения изменением фокусных расстояний левой и правой ветвей проектирующей системы. В приборе аэрофотоснимки располагают горизонтально, закрепляя в снимкодержателях 4 (в направлении оси Y прибора) и наблюдают через неподвижную бинокулярную систему 3. Наклонные углы α и ω учитывают в результате получения коррекционных плоскостей, на которые опираются левая и правая каретки фокусных расстояний. Наведение измерительной марки на наблюдаемую точку перемещением вдоль осей X и Y посредством ручных штурвалов 7 и 6 приводит к передвижению базисной каретки, повороту рычагов 2 вокруг карданных центров и перемещению снимкодержателей 4. Стереоскопическая модель строится с помощью двух проектирующих рычагов 2, связанных подвижными карданными центрами со снимкодержателями, каретками фокусных расстояний, опирающихся на базисную каретку. При наведении марки на точку шаровые опоры рычагов перемещаются по наклонным коррекционным плоскостям. Это приводит к соответствующему смещению точки вследствие изменения угла наклона аэрофотоснимка.

Перемещение марки по высоте осуществляется ножным штурвалом 7. Пишущий узел координатографа 5 поднимается и опускается ножной педалью 8.

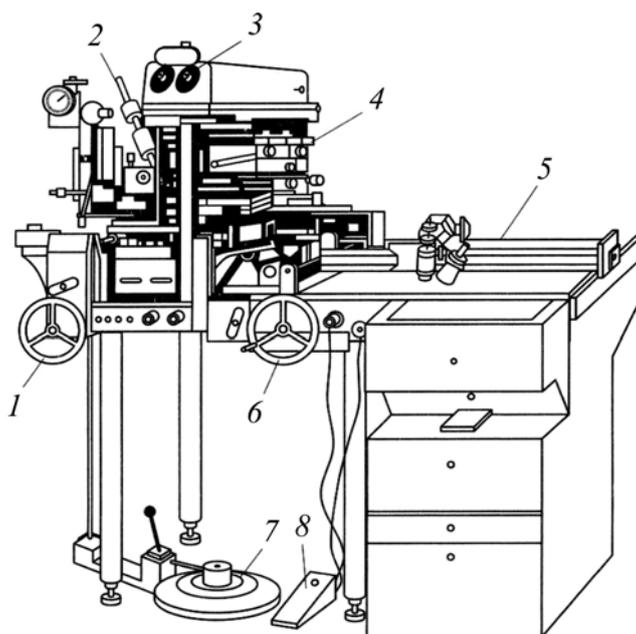


Рис. 32. Стереограф СД-3: 1 — штурвал X ; 2 — проектирующие рычаги; 3 — бинокулярная система; 4 — снимкодержатели; 5 — пишущий узел координатографа; 6 — штурвал Y ; 7 — ножной штурвал Z ; 8 — ножная педаль пишущего узла координатографа

1.6.2. Стереокompatоры

Стереокompatор — это высокоточный стереофотограмметрический прибор, предназначенный для измерения координат, продольных и поперечных параллаксов точек местности, отображенных на фотоснимках, а также определения элементов их взаимного ориентирования. Положение точек местности на смежных точках стереопары определяется фотограмметрическими координатами x_1, y_1, x_2, y_2 (рис. 33) или величинами x_1, y_1, p, q , где $p = x_1 - x_2$; $q = y_1 - y_2$. Величина p является продольным параллаксом точки, а величина q — поперечным параллаксом.

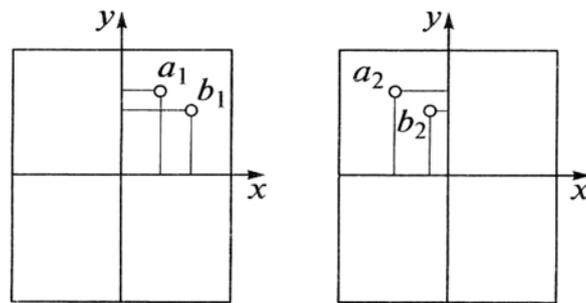


Рис. 33. Фотограмметрические координаты соответственных точек на стереопаре

Стереокompatоры имеют общую принципиальную схему (рис. 34). На массивной станине 1 установлена параллактическая каретка 2 с левым снимкодержателем P_1 .

В правой части станины 1 установлена параллактическая каретка 4, перемещающаяся относительно каретки 5 вдоль оси X с правым снимкодержателем P_2 .

Вдоль оси Y стереокompatора по мостику 3 может передвигаться подвижная часть наблюдательной системы 6, правая часть которой имеет дополнительное перемещение вдоль оси X . Все необходимые для проектирования транспортных сооружений данные получают по результатам измерений величин, перемещений подвижных частей стереокompatора по шкалам абсцисс, ординат, продольных и поперечных параллаксов.

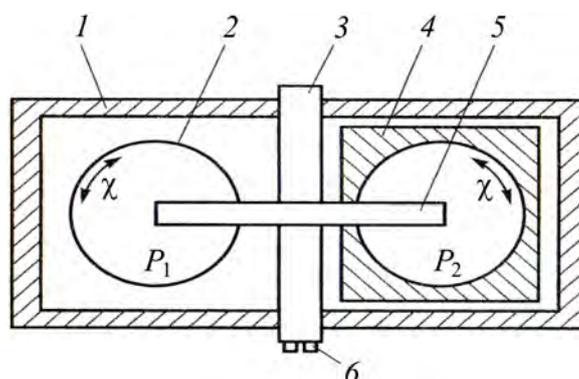


Рис. 34. Принципиальная схема стереокompatора:
1 — станина; 2 — общая каретка; 3 — мостик; 4 — параллактическая каретка; 5 — каретка; 6 — наблюдательная система

В России наибольшее распространение получил стереокомпаратор СК-1818 (рис. 35). Бинокулярная система стереокомпаратора содержит две измерительные марки. При стереоскопическом наблюдении они должны образовывать одну пространственную марку, которую наводят на измеряемую точку. Перед началом стереофотограмметрических наблюдений стереокомпаратор поверяют и определяют места нулей (МО) шкал прибора.

Наблюдения стереоскопической модели и ее измерения выполняют с помощью бинокулярного микроскопа 7, имеющего коэффициент увеличения, равный 8.

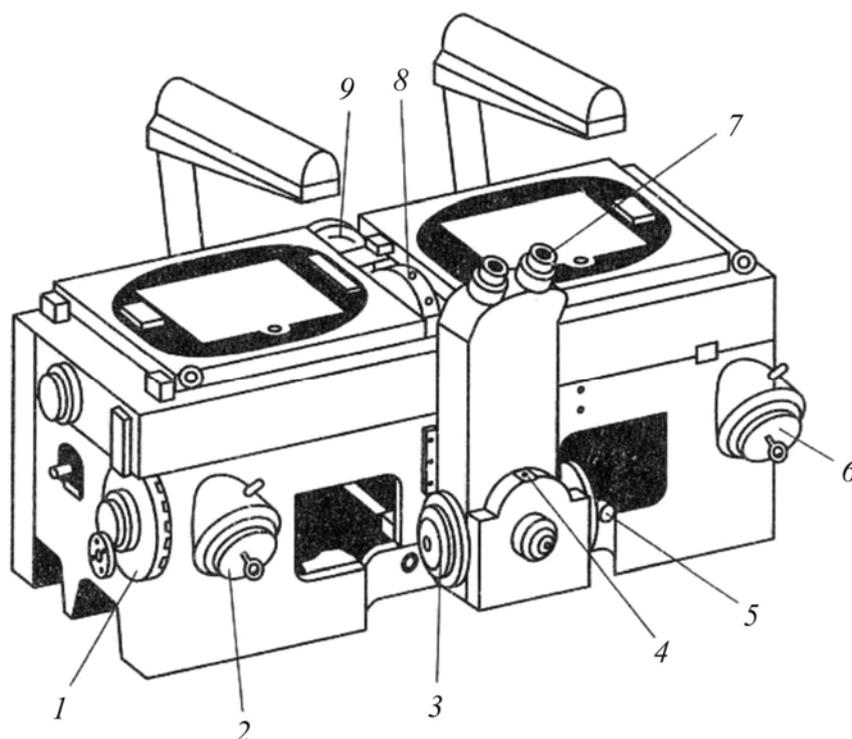


Рис. 35. Стереокомпаратор СК-1818: 1 — круговая шкала абсцисс X ; 2 — штурвал абсцисс; 3 — штурвал ординат; 4 — круговая шкала ординат Y ; 5 — кольцо поперечного параллакса; 6 — кольцо продольного параллакса; 7 — бинокулярный микроскоп; 8 — круговая шкала продольных параллаксов; 9 — круговая шкала поперечных параллаксов

В процессе измерений марку прибора перемещают в пространстве стереоскопической модели штурвалами абсцисс (X) 2 и ординат (Y) 3, кольца продольного параллакса (P) 6 и кольца поперечного параллакса (Q) 5 до устранения в каждой измеряемой точке двоения изображения пространственной марки относительно выбранной точки. Фотограмметрические координаты x_i и y_i отсчитывают по круговым шкалам абсцисс 1 и ординат 4 с точностью 0,02 мм, а продольные параллаксы p_i и поперечные параллаксы q_i по круговым шкалам продольных 8 и поперечных 9 параллаксов с точностью 5 мкм. Считывание отсчетов по соответствующим шкалам прибора выполняют после стереоскопического совмещения марки с наблюдаемой точкой.

На современных серийных стереокомпараторах СК-1818 установлены датчики для передачи отчетов в память персональных компьютеров и последующих вычислений координат точек.

1.6.3. Определение координат точек местности по аэрофотоснимкам

Фотограмметрические измерения на аэрофотоснимках сводятся к определению величин горизонтальных проекций длин линий и горизонтальных углов на местности.

Наиболее значимым результатом измерений является определение трехмерных координат точек местности (X, Y, Z), зная которые, можно вычислить и горизонтальные расстояния между точками, и дирекционные углы, и превышения.

Превышения и высоты точек по аэрофотоснимкам плановых аэрофото- съемок определяют по величинам измеренных продольных параллаксов соответствующих точек местности.

Продольные параллаксы точек местности (например, A и C на рис. 36) могут быть выражены через базис фотографирования B в масштабе изображения на аэрофотоснимке:

$$p_a = \frac{Bf_k}{H_A}; \quad p_c = \frac{Bf_k}{H_C}. \quad (1)$$

У точек местности, находящихся на одной высоте они будут одинаковы.

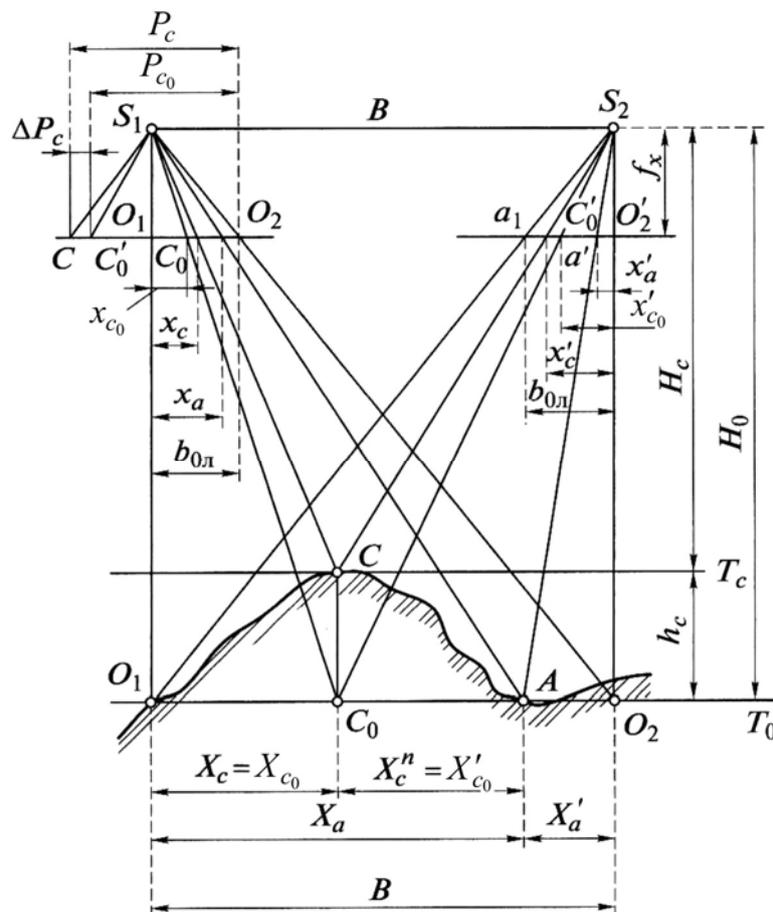


Рис. 36. Схема определения превышений на стереопаре горизонтальной аэрофотосъемки

Для горизонтальной съемки (см. рис. 36), $H_a = H_{c_0}$, из формул (1) $p_a = p_{c_0}$.

Продольные параллаксы точек, расположенных на разных высотах, будут различными, разность продольных параллаксков будет функцией превышения между ними:

$$p_{ac} = p_c - p_a = \frac{Bf_k}{H_0 - h_{ac}} - \frac{Bf_k}{H_0} = \frac{Bf_k h_{ac}}{H_0(H_0 - h_{ac})},$$

где p_a и p_c — продольные параллаксы точек A и C местности соответственно; f_k — фокусное расстояние аэрофотокамеры.

Исходя из того что $B = b_0 \frac{H_0}{f_k}$ (b_0 — горизонтальная проекция базиса в масштабе аэрофотоснимка), величина превышения h_{ac} между точками A и C равна

$$h_{ac} = \frac{\Delta p_{ac} H_0}{b_0 + \Delta p_{ac}}, \quad (2)$$

где p_a и p_c — продольные параллаксы точек A и C местности соответственно; f_k — фокусное расстояние аэрофотокамеры, т. е.

$$\Delta p_{ac} = \Delta p'_{ac} + \delta p_{ac}.$$

На основании формулы (2) величины превышения h_{ac} по стереоскопическим моделям местности выполняют фотограмметрическое нивелирование трасс линейных сооружений, рисовку горизонталей, определение высотного положения характерных точек местности для подготовки цифровых и математических моделей местности и автоматического вычерчивания топографических планов местности.

Для получения действительных значений разностей продольных параллаксков Δp аэрофотоснимки должны быть трансформированы. В последнее время происходит переход к определению превышений и высот точек местности по результатам измерений разностей продольных параллаксков $\Delta p'_{ac}$ на универсальных стереофотограмметрических приборах с последующим введением поправок δp_{ac} , определяемых компьютерным путем по известным элементам внешнего ориентирования.

Формулы пространственных координат характерных точек местности для горизонтальной аэрофотосъемки имеют вид

$$Z_a = \frac{f_k B}{P_a};$$

$$X_a = \frac{x_1 B}{P_a};$$

$$Y_a = \frac{y_1 B}{P_a},$$

где x_1, y_1 — фотограмметрические координаты точки A местности, измеренные по левому аэрофотоснимку стереопары.

1.6.4. Основные понятия о цифровых фотограмметрических системах

Для определения прямоугольных координат точек цифровых снимков в цифровых фотограмметрических системах ЦФС выполняют *внутреннее ориентирование*, т. е. определяют параметры, характеризующие положение и ориентацию системы фотограмметрических координат снимка OXY (O — главная точка снимка) в системе координат цифрового изображения $O_cX_cY_c$ (O_c — точка начала координат), а также данные, позволяющие исключить влияние систематической деформации фотоматериала, на котором был получен исходный аналоговый снимок (рис. 37).

Определение элементов внутреннего ориентирования цифровых снимков связано с методикой фотограмметрической калибровки съёмочной камеры (АФА).

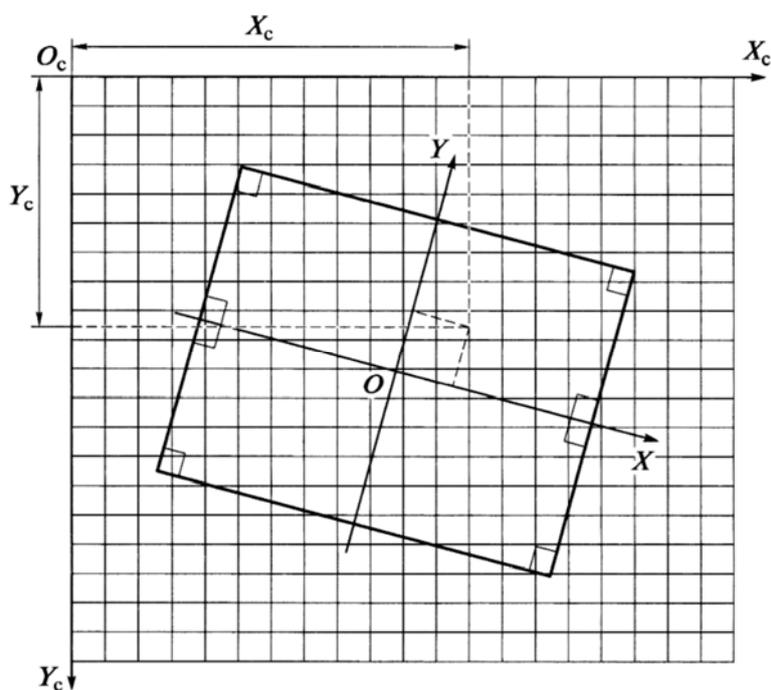


Рис. 37. Системы координат снимка OXY и цифрового изображения $O_cX_cY_c$

В основу калибровки положен принцип совместного определения элементов внутреннего и внешнего ориентирования цифровой камеры и поправок за несовпадение полученного с помощью ее изображения и изображения центральной проекции. Калибровку АФА выполняют по фотоснимкам пространственного испытательного полигона. Для выявления искажений на полигоне выполняют съемку местности испытываемой камерой с разных расстояний и на различных установках. После математической обработки результатов измерений определяют величины параметров калибровки (фокусное расстояние камеры, координаты главной точки, границы поля искажений снимка в виде коэффициентов полиномов или поправок к координатам) при каждой установке фокуса, диафрагмы и т. д.

Внутреннее ориентирование снимков выполняется в модуле АТ ЦФС Photomod. Определяют координаты меток снимка в системе координат съёмочной камеры. Используя один из вариантов преобразования, выполняют внутреннее ориентирование снимков с определением средней квадратической погрешности (m_x, m_y) прямоугольных координат меток.

Определение координат точек местности выполняют по стереопаре методом двойной обратной фотограмметрической засечки в следующей последовательности:

1) определяют элементы взаимного ориентирования снимков: взаимную угловую ориентацию стереопары снимков и базиса фотографирования; для их определения на стереопаре необходимо измерить не менее шести точек (пять связующих точек, и еще одна для контроля) (рис. 38);

2) по измеренным на стереопаре координатам изображений связующих точек и значениям элементов взаимного ориентирования снимков строят фотограмметрическую модель объекта, которая подобна сфотографированному объекту, но имеет произвольный масштаб и ориентирование относительно системы координат объекта;

3) по опорным точкам определяют элементы *внешнего ориентирования* фотограмметрической модели: масштаб модели, ее положение и ориентацию относительно системы координат объекта;

4) по координатам точек, вычисленным в системе координат модели и элементам ее внешнего ориентирования определяют координаты точек в системе координат объекта.

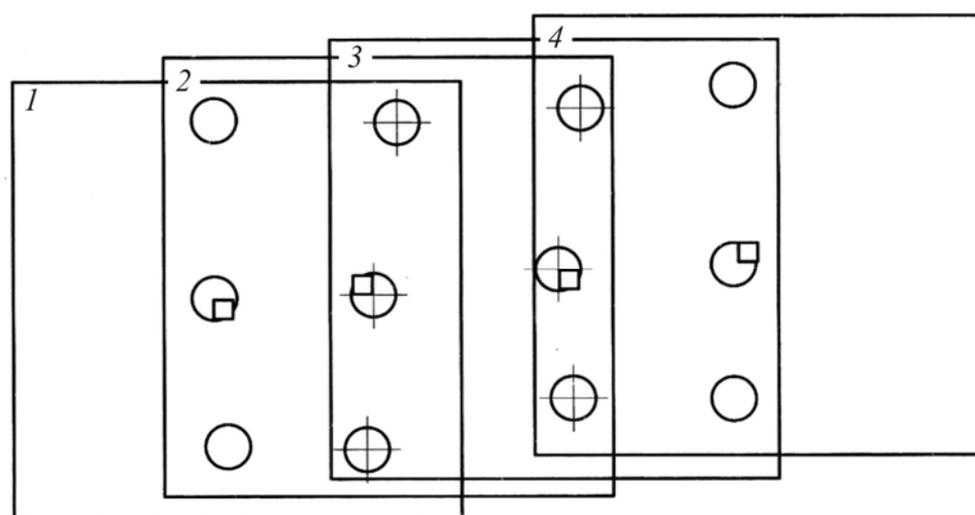


Рис. 38. Схема расположения главных и связующих точек на стереопарах: □ — главная точка снимка; ○ — связующая точка; ⊕ — связующая точка тройного перекрытия

В отсутствии опорных точек система Photomod позволяет построить свободную модель. Для этого в модуле АТ выполняют внутреннее ориентирование и измерение координат связующих точек по стереопарам маршрута и между соседними маршрутами.

1.6.5. Построение цифровой модели местности и ортоизображений (топографических планов)

Основным видом цифровой модели местности (ЦММ) в ЦФС Photomod является нерегулярная пространственная сеть треугольников — TIN.

Построение ЦММ с использованием регулярной сетки применимо при равнинном рельефе с плавным переходом из одной его формы в другую. Способ удобен при создании цифровой модели полосы отвода существующей автомобильной дороги.

При построении ЦММ в виде регулярной сетки квадратов или прямоугольников задают размер стороны квадрата или размеры сторон четырехугольника. Результирующий TIN строится посредством триангуляции по узлам сетки в соответствии с критерием Делоне (рис. 39) (внутри круга, построенного по трем точкам, образующим треугольник, не должна попадать никакая другая точка.) При нарушении условия Делоне треугольники перестраивают, включая появившуюся точку в их сеть. Затем соответствие критерию Делоне снова проверяется.

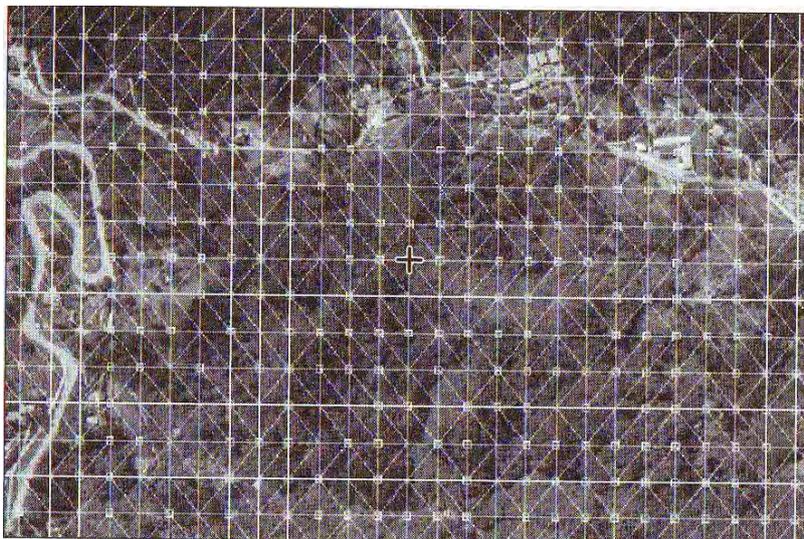


Рис. 39. Регулярная сетка квадратов при создании ЦММ (в частности, при создании ЦММ территории под строительство аэропорта)

При наличии большого количества структурных линий целесообразно построение TIN с использованием векторных объектов.

ЦММ строится посредством триангуляции существующих векторных объектов, при этом точки структурных линий становятся вершинами TIN.

Построение TIN по областям представляет собой комбинацию из нескольких методов. В пределах стереопары создаются локальные области, т. е. векторные полигоны, ограничивающие участки построения модели. Внутри каждого участка используется отдельная модель построения TIN. Например, на стереопаре выделяется отдельным полигоном территория населенного пункта. Внутри него с помощью модели «по векторам» строится TIN. Вне населенного пункта для построения ЦММ используется другая модель.

Редактирование TIN сводится к поиску заведомо ошибочных вершин. Система Photomod позволяет в 3D-окне наглядно выявлять грубые ошибки, т. е. выбросы точек, которые для избежания искажения ЦММ удаляют.

Редактирование TIN осуществляется отдельно по каждой стереопаре. На втором этапе модуль DTM позволяет отредактированные TIN отдельных стереопар сшивать в глобальную TIN всей измеренной территории. Основное условие создания единой TIN — точное совпадение общих границ между соседними стереопарами. Сформированная глобальная TIN является основой для рисовки горизонталей местности. Проведенные горизонтали подвергаются обработке, в том числе устранению пересечений соседних горизонталей и сглаживанию их с помощью сплайн-функций.

ЧАСТЬ II. ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

II.1. Приборы и методы геодезических измерений и построений

II.1.1. Теодолиты

II.1.1.1. Общие сведения

Современные теодолиты — оптические геодезические приборы с угломерными кругами, сделанными из оптического стекла. Оптической системой теодолита изображение кругов проецируется в фокальную плоскость расположенного рядом со зрительной трубой отсчетного микроскопа. Отсчетными устройствами в оптических теодолитах являются микрометры и шкаловые микроскопы, обеспечивающие удобство отсчитывания угловых единиц измерения с высокой точностью. Теодолиты снабжены оптическими центрами. Зрительные трубы с высококачественной оптикой обеспечивают получение четких неискаженных изображений объектов наблюдений.

При геодезическом обеспечении строительства автомобильных дорог, мостовых и тоннельных переходов наибольшее применение нашли точные оптические теодолиты 2Т2, 2Т5, их модификации и иностранные аналоги. На стадии инженерно-геодезических изысканий и при производстве некоторых разбивочных работ используют технические теодолиты 2Т30 и 4Т30. При необходимости выполнения высокоточных угловых измерений, например, при построении разбивочных сетей на мостах длиной более 1 км, используют высокоточный теодолит Т1 и его европейские аналоги ([табл. 1](#)).

Теодолит 2Т5 ([рис. 40, а](#)) применяют для угловых измерений при инженерно-геодезических изысканиях автомобильных дорог, тоннелей и мостовых переходов, производстве разбивочных работ и при построении геодезических сетей. Теодолит может быть с уровнем при вертикальном круге (2Т5) и с компенсатором углов наклона (2Т5К). Эти теодолиты имеют высококачественную зрительную трубу, в которой жестко закреплено стекло с отцентрированной сеткой нитей. Юстировочное устройство позволяет для ликвидации коллимационной погрешности трубы поворачивать ее относительно оси вращения. В устройство входит расположенное между корпусом зрительной трубы и ее горизонтальной осью клиновое кольцо, которое, выполняя юстировку, поворачивают специальным ключом. Для быстрого взятия

отсчета по горизонтальному кругу в теодолите применяют круг-искатель, имеющий шкалу с ценой деления 10° , укрепленную непосредственно на горизонтальном круге. Отсчет целого числа градусов делают, смотря через одно из двух окон на колонке прибора. Для этого вращают рукоятку перестановки горизонтального круга 5.

Таблица 1

Технические характеристики оптических теодолитов

Параметры	Типы теодолита			
	T1	2T2	2T5	2T30
Средняя квадратическая ошибка измерения: горизонтального угла, секунды;	1	2	5	30
вертикального угла, секунды	1,5	3	12	45
Ошибка диаметра горизонтального круга, в секундах	1,2	1,5	2,5	10,0
Увеличение зрительной трубы	30, 40	25	25	20
Цена деления шкал лимбов: горизонтального круга;	10'	20'	1°	1°
вертикального круга	10'	20'	1°	1°
Отсчетное устройство:	Оптический микроскоп		Шкаловой микроскоп	
вид				
цена деления уровня в секундах:				
а) на алидаде горизонтального круга	10	—	30	—
б) при вертикальном круге	10	15	15	—
в) накладного	10	10	—	—
Масса теодолита, кг	11	5	4,5	2,3

Теодолиты снабжены оптическими центрирами 2. Наводящие винты теодолита совмещены с закрепительным. На лимбе горизонтального и вертикального круга теодолита через 1° нанесены деления. Каждый штрих оцифрован. Вертикальный круг имеет секторную оцифровку. Изображения делений лимба и алидады передаются в поле зрения отсчетного микроскопа 3. В нем одновременно видны изображения штрихов горизонтального и вертикального кругов. Отсчеты по кругам проводятся при помощи шкал, видимых в верхней и нижней половинах поля зрения отсчетного микроскопа.

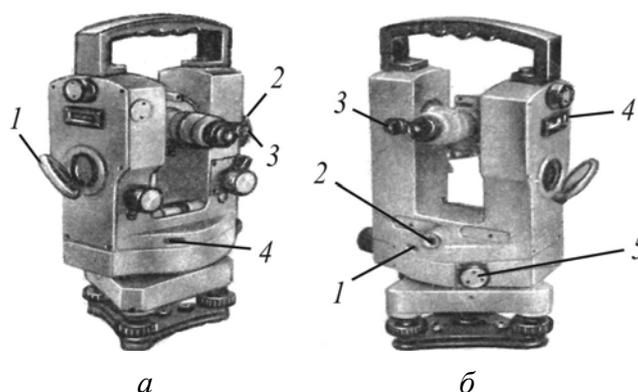


Рис. 40. Оптический теодолит: а — 2Т5; б — 2Т2: 1 — зеркало; 2 — оптический центрир; 3 — отсчетный микроскоп; 4 — дровень; 5 — горизонтальный круг

Каждая шкала имеет по 60 делений с ценой деления 1'. Индексом для взятия отсчета служит его градусный штрих круга, расположенный внутри шкалы. Число секунд оценивают на глаз.

Шкала, предназначенная для отсчитывания по вертикальному кругу, имеет двойную оцифровку: верхнюю, положительную, используют, когда в ее пределах находится штрих вертикального круга без знака, нижнюю (отрицательную), если штрих будет иметь знак минус.

Перед взятием отсчета по вертикальному кругу приводят уровень 4 (см. рис. 40) при его алидаде в нуль-пункт. Место нуля вертикального круга и углы наклона вычисляют по формулам

$$M_0 = (KЛ + КП) / 2; \nu = (KЛ - КП) / 2 = KЛ - M_0 = M_0 - КП.$$

Теодолит 2Т5К снабжен оптическим компенсатором при вертикальном круге. Приведение его места нуля к значению близкому 0° 00' 00" выполняют вращением винта на колонке прибора.

Теодолит 2Т2 (см. рис. 40, б) используют для измерения горизонтальных углов и зенитных расстояний при построении геодезических сетей в производстве разбивочных работ и выполнении наблюдений за деформациями дорожных сооружений. Его зрительная труба, как и у теодолита 2Т5, снабжена клиновым кольцом, позволяющим устранять коллимационную погрешность. При работе в темное время суток сетка нитей может освещаться.

Отсчетное устройство прибора состоит из оптической системы, отсчетного микроскопа и оптического микрометра. Оптическая система призм теодолита передает изображения диаметрально противоположных шкал горизонтального или вертикального кругов в поле зрения отсчетного микроскопа 3. Переключение изображений шкал выполняется переключателем оптических каналов, расположенным на колонке теодолита. Подсветка угломерных кругов производится при помощи зеркала 1 от солнечного освещения или от закрепляемой на иллюминаторе электрической подсветки.

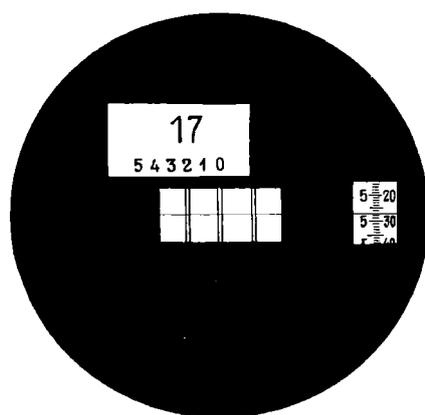


Рис. 41. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т2. Отсчет 17°25'27"

В поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т2 имеется три окна (рис. 41). В центральном окне видны диаметрально противоположные штрихи угломерного круга. В нижней части верхнего окна нанесены цифры, обозначающие десятки минут (числа от 0 до 5), а в верхней части — количество градусов. В боковом окне видна шкала оптического микрометра. Цифры слева обозначают число минут, числа справа — десятки секунд. Вращением рукоятки оптического микрометра 2 совмещают верхние и нижние штрихи круга в центральном окне микроскопа. Затем в верхнем окне считывают число градусов, под ним напротив левых штрихов круга — число

десятков минут. Далее в правом боковом окне по индексу в левом ряду цифр отсчитывают единицы минут, в правом по шкале оптического микрометра —

десятки секунд (число) и секунды по штрих-коду. На [рис. 41](#) отсчет по горизонтальному кругу равен $17^{\circ}25'27''$. Аналогично берут отсчет и по вертикальному кругу.

Место зенита и зенитные расстояния вычисляют по формулам

$$MZ = (КЛ + КП + 360^{\circ}) / 2;$$

$$Z = (КЛ - КП + 360^{\circ}) / 2 = КЛ - MZ = MZ - КП.$$

Теодолит снабжен круго-искателем 4, рукояткой для перестановки горизонтального круга и оптическим центриром.

Высокоточный теодолит Т1 (рис. 42) переназначен для построения разбивочных сетей транспортных сооружений длиной более 1 км, выполнения разбивочных работ и наблюдений за деформациями.

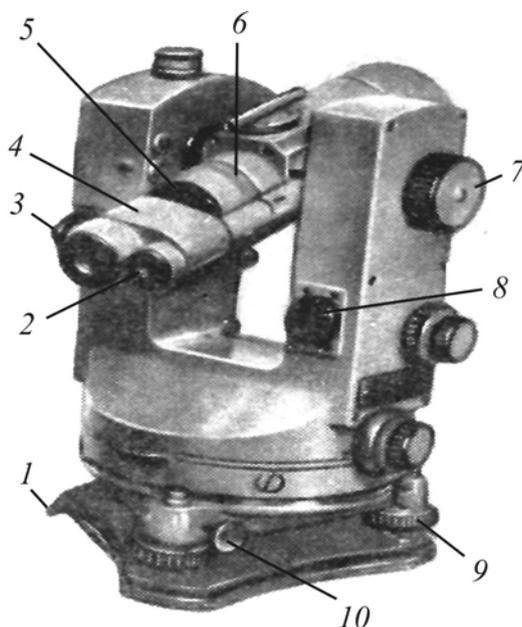


Рис. 42. Теодолит Т1: 1 — центрированная плита; 2 — отсчетный микроскоп; 3 — зрительная труба; 4 — окулярный микрометр; 5 — фокусирующее кольцо; 6 — затяжная гайка; 7 — головка; 8 — рукоятка; 9 — подъемные винты; 10 — стопорные винты

Он имеет закрепленную подставку с центрировочной плитой 1. После горизонтирования подставки подъемные винты 9 прибора фиксируют стопорными винтами 10. В алидадную часть горизонтального круга теодолита встроен оптический центрир.

Изображения диаметрально противоположных шкал горизонтального и вертикального кругов теодолита Т1 проецируются при помощи оптической системы в фокальную плоскость отсчетного микроскопа 2. Передача в его поле зрения шкал угломерных кругов осуществляется отдельно. Переключение микроскопа на другой оптический канал выполняют рукояткой 8. В верхней части большого окна видимого в поле зрения микроскопа наблюдается изображение основной стороны круга, а в нижней — противоположной ([рис. 43](#)). Возможна электрическая подсветка кругов и поля зрения микроскопа.

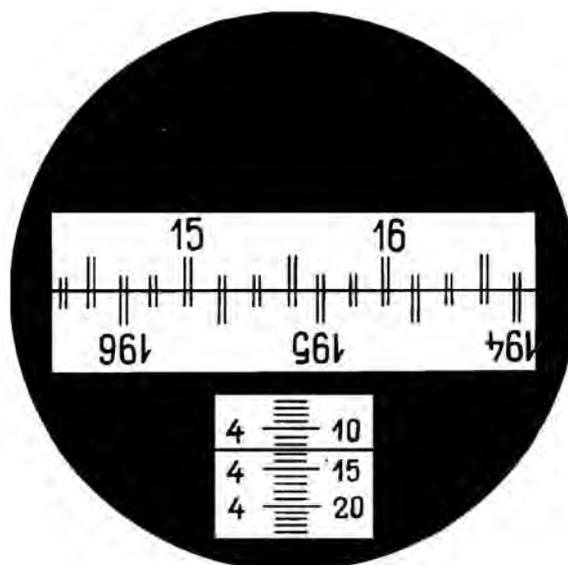


Рис. 43. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т1

Для взятия отсчетов с точностью до секунды служит оптический микрометр. Вращением его головки 7 (см. рис. 42) совмещают видимые в большом окне изображения верхних и нижних штрихов круга отсчетного микроскопа. Отсчитывают количество градусов, равное числу, видимому над штрихом верхней шкалы в центре окна либо несколько смещенному влево. Затем определяют число десятков минут, равное разделенному на 2 числу интервалов, заключенных между отсчитанным верхним градусным штрихом и нижним, отличающимся от него на 180° , и число минут в левом ряду чисел шкалы оптического микрометра, видимой в малом окне микроскопа. После этого в правом ряду цифр шкалы оптического микрометра по индексу определяют число секунд и их долей. На рис. 43 отсчет по горизонтальному кругу равен $15^\circ 24' 12,5''$.

Зрительная труба теодолита 3 имеет два съемных окуляра, обеспечивающих 30- или 40-кратное увеличение. В процессе угловых измерений и при переводе трубы через зенит для предупреждения нарушений фокусировки фокусирующее кольцо трубы 5 может закрепляться затяжной гайкой 6. Окулярный микрометр 4 зрительной трубы, предназначенный для обеспечения точного визирования, состоит из телескопической линзы и жестко соединенной с ней микрометрической шкалы. Шкала окулярного микрометра видна в поле зрения трубы рядом с сеткой нитей. Она содержит 60 делений — по 30 делений в обе стороны от нулевого. Цена деления шкалы окулярного микрометра — $1''$, каждый десятый штрих оцифрован. Для удобства взятия отсчетов при различных положениях вертикального круга оцифровка штрихов двойная. Если отсчет по шкале окулярного микрометра находится в пределах $0 \dots 30$ делений, поправку к отсчету по оптическому микрометру вводят со знаком «+», в пределах $70 \dots 0$ — со знаком «-». Для отсчетов используется прямая оцифровка делений шкалы.

При угловых измерениях на каждую визирную цель делают три наведения окулярным микрометром и берут три отсчета (расхождения не должны превышать одного деления), вычисляют среднее из отсчетов и прибавляют его к отсчету по оптическому микрометру.

В комплект теодолита входит накладной уровень, предназначенный для определения наклона горизонтальной оси теодолита при измерении углов между направлениями с различными зенитными расстояниями. При вычислении зенитных расстояний пользуются формулами

$$MZ = \frac{(КЛ + КП) - 360^\circ}{2}; Z = КЛ - MZ = MZ - КП.$$

II.1.1.2. Способы угловых измерений

При геодезическом обеспечении дорожного строительства, измерение горизонтальных углов между тремя и более направлениями выполняют способом круговых приемов.

Например, на пункте триангуляции Т-4 устанавливают теодолит, центрируют и приводят его в рабочее положение. При положении зрительной трубы «круг лево» и закрепленном горизонтальном круге вращением алидады по ходу часовой стрелки наводят трубу на пункт Т-1, расположенный на начальном направлении, и берут отсчеты по горизонтальному кругу, дважды совмещая штрихи круга вращением головки оптического микрометра. При этом различие отсчетов не должно быть более 2". Поворачивая алидаду по ходу часовой стрелки, последовательно наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы на пункты триангуляции Т-2 и Т-3, заканчивая наведением на пункт начального направления Т-1. Эти измерения составляют первый полуприем. Затем переводят трубу через зенит и наводят перекрестие сетки нитей на те же пункты при круге право, но в обратном порядке, вращая алидаду против хода часовой стрелки; при каждом наведении также делают отсчеты по лимбу и дважды по микрометру (второй полуприем). Два полуприема образуют полный круговой прием.

Повторное наведение трубы теодолита в каждом полуприеме на начальное направление с фиксацией отсчетов по горизонтальному кругу называется *замыканием горизонта*, которое позволяет контролировать неподвижность горизонтального круга в течение полуприема. Результаты наблюдений на пункте записывают в журнал установленной формы ([табл. 2](#)).

При обработке результатов измерений для каждого направления вычисляют средние значения из отсчетов по оптическому микрометру, двойную коллимационную погрешность $2c = КЛ - КП$ и средние значения направлений из полуприемов. В нижней строке журнала выписывают величину замыкания горизонта по каждому полуприему, его среднее значение, а также максимальное колебание $2c$, которые сравнивают с установленными допусками ([табл. 3](#)).

Таблица 2

Образец записи в журнале угловых измерений

Направление	Круг	Отсчет по лимбу	Отсчет по микрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	Л – П = 2с	$\frac{Л + П}{2}$ (δ)	Значение направления
			a_1	a_2				
Т-1	Л	0°00'	04"	05"	4,5"	-9,5"	9,2"	0°00'00,0"
	П	180°00'	13"	15"	14,0"		00"	
Т-2	Л	82°23'	30"	31"	30,5"	-10,0"	35,5"	82°23'28,3"
	П	262°23'	40"	41"	40,5"		+2,0"	
Т-3	Л	125°32'	02"	00"	01,0"	-12,5"	07,2"	125°32'02,0"
	П	305°32'	13"	14"	13,5"		+4,0"	
Т-1	Л	359°32'	59"	58"	58,5"	-9,5"	03,2"	
	П	180°00'	09"	07"	08,0"		+6,0"	

Примечание: незамыкание ΔКЛ = -6,0"; ΔКП = -6,0"; Δср = -6,0"; максимальное колебание 2с = 3,0".

Таблица 3

Необходимое число приемов и допуски

Тип прибора	Число приемов					Допуск		
	Средняя квадратическая ошибка измерения угла					Незамыкание	Колебание 2с в приеме	Колебание и направления
	1"	1,5"	2	5"	10"			
Т1	12	9	6	—	—	6"	8"	6"
Т2	—	12	6	3	2	8"	12"	8"
Т5	—	—	—	4	3	12"	—	12"

В средние значения направлений вводят поправки за незамыкание горизонта, вычисляемые по формуле

$$\delta = -\frac{\Delta_{\text{ср}}}{n}(k-1),$$

где $\Delta_{\text{ср}}$ — среднее из полуприемов незамыканий горизонта; n — число наблюдаемых на пункте направлений; k — порядковый номер направления.

Затем вычисляют значения направлений, приведенных к начальному, (принимаемому за нулевые). Для этого из каждого среднего направления с учетом поправки вычисляют значение первого начального направления (в табл. 2 оно равно 0°00'09,2").

Программа наблюдений на пункте состоит из нескольких приемов. Необходимое число круговых приемов определяется необходимой точностью измерения углов и точностью используемого теодолита (см. табл. 3).

Для уменьшения влияния погрешностей делений горизонтального круга, его между приемами смещают на угол

$$\sigma = (180^\circ/m) + i \quad \text{или} \quad \sigma = (180^\circ/m) + i/2,$$

где m — число приемов; i — цена наименьшего деления горизонтального круга.

Результаты наблюдений на каждом пункте контролируют и в пределах каждого приема, и по сходимости результатов измерений между приемами. Различие в угловых величинах направлений в отдельных приемах, приведенных к общему нулю, не должны превышать величин допусков, указанных в [табл. 3](#). Все числовые значения в приемах, не удовлетворяющие допускам, бракуют. При различиях результатов измерений, превышающих допуски на отдельных направлениях (не более 30 %), наблюдения на них повторяют, связывая с начальным и одним-двумя смежными направлениями.

Результаты наблюдений на пункте заносят в сводную ведомость результатов измерений, вычисляют средние значения по каждому направлению из всех приемов и проводят оценку точности результатов.

Среднюю квадратическую ошибку направления, измеренного одним приемом, вычисляют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum v^2 - \frac{1}{n} \sum [v]^2}{(n-1)(m-1)}}$$

или по приближенной формуле Петерса

$$\mu = \frac{1,25}{\sqrt{m(m-1)}} \frac{|\sum v|}{n},$$

где m — число приемов; $\sum |v|$ — сумма абсолютных величин уклонений измеренных направлений от их средних значений, вычисленных по всем направлениям и по всем приемам; n — число направлений.

Среднюю квадратическую ошибку усредненного значения направления, полученного из m приемов, определяют по формуле

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{m}}.$$

Для измерения горизонтальных углов между двумя направлениями применяют способ приемов. Каждый прием состоит из двух полуприемов. Закрепляют лимб и, поворачивая алидаду по ходу часовой стрелки, последовательно наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы на наблюдаемые пункты. При измерении угла поворота полигонометрического хода это будут задний и передний пункты хода. После каждого наведения берут отсчеты по горизонтальному кругу a_3 и a_n и вычисляют значение угла в полуприеме:

$$\beta'_n = a_3 - a_n \text{ или } \beta'_л = a_n - a_3,$$

где β'_n и $\beta'_л$ — правый и левый углы поворота хода.

Второй полуприем выполняют при другом положении вертикального круга относительно зрительной трубы, сместив лимб на некоторый угол. Поворачивая алидаду против хода часовой стрелки, наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы на наблюдаемые пункты в обратном порядке, т. е. сначала на передний, а затем на задний пункты, и берут отсчеты a_n и a_3 .

Вычисляют значение угла из второго полуприема:

$$\beta''_{\text{п}} = a'_3 - a'_{\text{п}}$$

или

$$\beta''_{\text{л}} = a'_{\text{п}} - a'_3.$$

Если расхождения в углах, полученных в полуприемах, не превышают установленных для данного вида работ допуск, то за окончательное значение угла принимают среднее, т. е.

$$\beta_{\text{п}} = 1/2 (\beta'_{\text{п}} + \beta''_{\text{п}}) \text{ или } \beta_{\text{п}} = (\beta'_{\text{л}} + \beta''_{\text{л}}).$$

При измерении угла m приемами горизонтальный круг между ними смещают на угол, приблизительно равный $180^\circ / m$.

Общие правила измерения горизонтальных углов. В зависимости от требований к точности измерений выбирают тип теодолита. Теодолит должен быть тщательно поверен и исследован согласно рекомендациям, изложенным в паспорте прибора и в инструкции.

Визирные лучи должны проходить не ближе 20 см от конструктивных элементов знака и 1...2 м от зданий, строений, деревьев и т. д. Для придания штативу во время измерений устойчивости его ножки устанавливают на прочно забитые в землю колышки. Теодолит центрируют над пунктом установки оптическим центриром с погрешностью не более 1 мм. Визирные марки также центрируют над пунктом наблюдения с погрешностью не более 1 мм.

Уменьшения влияния ошибок центрирования на точность угловых измерений достигают путем повторного центрирования приборов между приемами или группами приемов. При невозможности точной установки теодолита или визирных целей над знаками необходимо определять элементы центрировки и редукции и вводить соответствующие поправки.

Теодолит устанавливают на пункте за полчаса до начала измерений, чтобы температура его деталей сравнялась с температурой воздуха. По мере возможности прибор должен быть защищен от солнечных лучей и ветра.

Углы следует измерять при хорошей видимости неподвижных или слегка колеблющихся изображений. При выборе времени наблюдений особое внимание необходимо уделять максимально возможному исключению влияния боковой рефракции.

Ошибки направлений под влиянием боковой рефракции могут быть весьма значительными и достигать 5...7", а в условиях города — до 20". В приземном слое воздуха относительное равновесие наступает через 1...1,5 ч после восхода и за 1...1,5 ч до заката. В это время горизонтальный температурный градиент близок к нулю и боковая рефракция практически не искажает измеряемых направлений. Поэтому горизонтальные углы рекомендуется измерять в утренние и вечерние часы, заканчивая наблюдения утром через 2...3 ч после восхода и начиная вечерние измерения за 2...3 ч до захода Солнца. В пасмурные дни измерения можно проводить в течение всего све-

того времени суток. Для ослабления влияния рефракции программу измерений следует выполнять по частям, в разных условиях, с равным числом приемов. В условиях города высокоточные измерения рекомендуется выполнять ранней весной и поздней осенью, когда суточные изменения температуры воздуха заметно сглажены. При измерении необходимо тщательно фокусировать зрительную трубу по наиболее удаленному пункту и по возможности не изменять фокусировку в ходе выполнения приема. Нельзя сильно затягивать закрепительные винты, желательно пользоваться средней частью наводящих винтов. Окончательное наведение биссектора сетки нитей на предмет необходимо выполнять только ввинчиванием наводящего винта.

В значение угловых измерений, выполненных с допустимой погрешностью $1''$, при углах наклона визирной оси более 2° , в последующем следует вводить соответствующие поправки.

Если расхождения в углах, полученных в полуприемах, не превышают установленный для данного вида работ допуск, то за окончательное значение угла принимают среднее значение.

При измерении угла n приемами горизонтальный круг между приемами переставляют на угол $180^\circ / n$.

II.1.1.3. Введение поправок за центрировку теодолита и редукцию визирной марки

При сложности выполнения установки теодолита над центром пункта или визировании на марку, смещенную от пункта геодезической сети, вводят поправки за центрировку и редукцию. Для вычисления этих поправок определяют элементы приведения — центрировки и редукции.

Элементами центрировки на пункте A (рис. 44, *а*) являются: расстояние e от точки стояния инструмента I до центра пункта C и угол θ , отсчитываемый по ходу часовой стрелки от направления из точки I на центр C до начального направления на пункте A . Элементами редукции, наблюдаемом с пункта A на пункте B (рис. 44, *б*), — это расстояние e_1 от проекции визирной цели V до центра пункта C и угол отсчитываемый по ходу часовой стрелки θ_1 между направлением на центр и начальным направлением на пункт B .

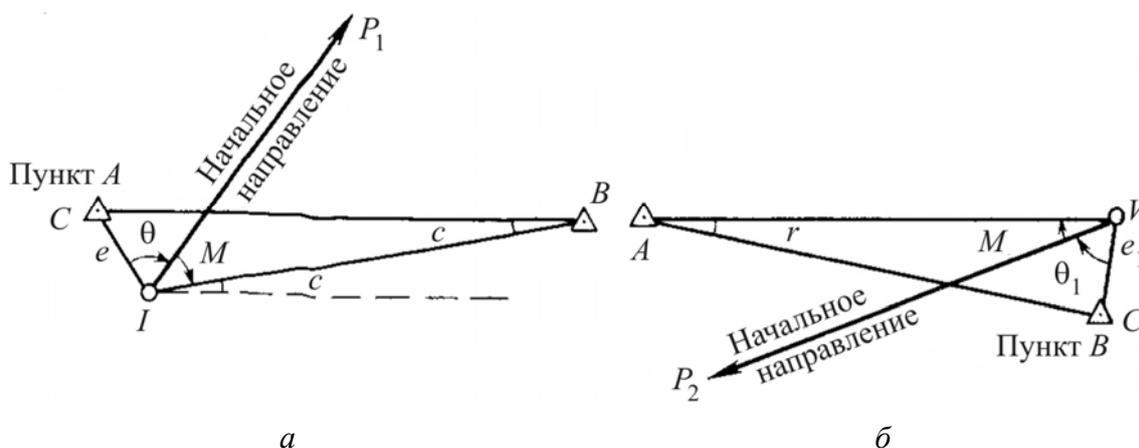


Рис. 44. Элементы: *а* — центрировки на пункте A ; *б* — редукции на пункте B

Поправки за центрировку прибора c и редукцию визирной цели r вычисляют по формулам

$$\sin c = e \sin(M + \theta) / s; \quad \sin r = e_1 \sin(M_1 + \theta_1) / s,$$

где M — направление с пункта A на пункт B ; M_1 — направление с пункта B на пункт A ; s — длина стороны по этому направлению.

При принятом правиле отсчета углов θ и θ_1 поправки c'' и r'' всегда алгебраически суммируются с измеренными направлениями.

Приведенное к центрам пунктов направление с пункта A на пункт B равно

$$M^\circ = M + c'' + r''.$$

Средние квадратические ошибки элементов приведения не должны превышать ошибок, определенных по формулам

$$m_e = (m_c)_{\max} (s / \rho); \quad m_\theta = (m_c)_{\max} (s / \rho),$$

где m_e , m_θ — средние квадратические ошибки измерения соответственно линейного и углового элементов центрировки; $(m_c)_{\max}$ — максимальная допустимая ошибка направления.

Элементы приведения определяют по данным непосредственного измерения на пунктах или графическим способом.

Первый способ применяют, когда возможно непосредственное измерение теодолитом угла между направлениями на центр знака и на пункт начального направления, а с помощью рулетки — определение горизонтального расстояния между центром знака и точкой стояния теодолита.

При графическом способе (см. рис. 44) теодолитом проектируют точки C , I и V на центрировочный столик, установленный над центром пункта. Работу выполняют с трех точек установки, выбранных таким образом, чтобы проектирующие плоскости пересекались между собой под углом, близким к 120° . Каждую точку проектируют при двух положениях вертикального круга с фиксацией карандашом на центрировочном листе следов проектирующих плоскостей и осреднением результатов проектирования. Положение каждой точки на центрировочном листе определяется пересечением трех осредненных линий, при этом стороны образующегося треугольника погрешностей не должны превышать 2...3 мм. За окончательное положение точки принимают центр треугольника погрешностей. На центрировочном листе из точек C или V прочерчивают начальное направление и направление на один из наблюдаемых пунктов. Затем с точностью до 0,5 мм измеряют линейные элементы приведения e и e_1 и геодезическим транспортиром — угловые элементы θ и θ_1 с погрешностью не более $15'$. На наблюдаемом пункте элементы приведения определяют дважды: непосредственно перед угловыми измерениями и сразу после их окончания. Аналогические действия выполняют при проведении разбивочных работ.

II.1.2. Нивелиры

В нашей стране выпускают три типа нивелиров: высокоточные — Н05, точные — Н3 и технические — Н10 (табл. 4). Буква Н означает нивелир, числа характеризуют среднюю квадратическую погрешность измерения превышения в мм на 1 км двойного хода, выраженную в мм. Нивелиры выпускают в двух исполнениях: с цилиндрическими уровнями при зрительной трубе и с компенсаторами углов наклона. При наличии компенсатора к шифру нивелира добавляется буква К, например НЗК. Нивелиры могут также изготавливаться с лимбами для измерения с невысокой точностью горизонтальных углов.

Таблица 4

Основные технические характеристики нивелиров

Параметры (по ГОСТ 10528—76)	Н05	Н3	Н10
Средняя квадратическая ошибка превышения на 1 км двойного хода, мм	0,5	3	10
Средняя квадратическая ошибка превышения на станции, мм, при расстоянии от нивелира до реек:			
50 м	0,20	—	—
100 м	—	2,0	5,0
Увеличение зрительной трубы, крат	40	30	20

У них к шифру добавляется буква Л, например Н10КЛ. Если труба нивелира имеет прямое изображение, то к шифру добавляют букву П (НЗКП).

Нивелир НЗ имеет цилиндрический уровень при зрительной трубе. Характеризуясь достаточно высокой точностью, он надежен и удобен в работе, благодаря чему нашел широкое применение при производстве инженерно-геодезических изысканий и выполнении разбивочных работ.

Предварительное горизонтирование прибора осуществляется по круглому уровню. Приведение визирной оси в строго горизонтальное положение осуществляется при помощи контактного уровня. Призмным устройством и изображение концов пузырька цилиндрического уровня передается в поле зрения трубы. Для приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт служит элевационный винт. Юстировка оси уровня при выполнении главной поверки нивелира проводится исправительными винтами, расположенными в нише трубы со стороны окуляра.

Для измерения превышений применяют трехметровые шашечные двусторонние рейки типа РН-3 (ГОСТ 11158—83) с ценой деления шкал, равной 1 см. Отсчеты по шкалам реек берут по средней нити сетки нитей с точностью до 1 мм. Перед взятием каждого отсчета элевационным винтом совмещают видимые в поле зрения трубы изображения концов пузырька контактного уровня.

Нивелир НЗК применяется для тех же работ, что и НЗ. Зрительная труба прибора снабжена компенсатором для автоматической установки визирной оси в горизонтальное положение. Приближенное горизонтирование прибора проводится также по круглому уровню.

Нивелир Н05 (рис. 45) — это высокоточный прибор, применяемый для построения геодезических высотных сетей, производства разбивочных работ, исследования деформаций транспортных сооружений.

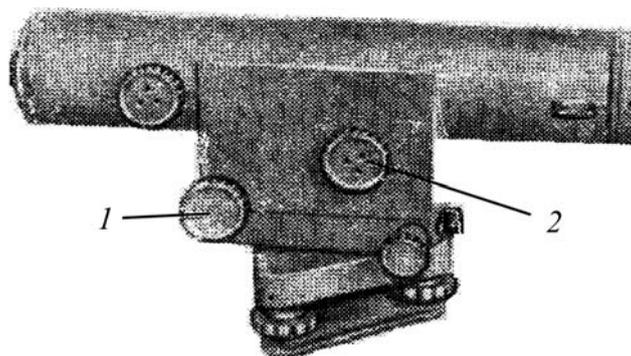


Рис. 45. Нивелир Н05: 1 — элевационный винт; 2 — головка

Зрительная труба нивелира имеет внутреннюю фокусировку. На корпусе трубы расположен контактный цилиндрический уровень с призменной системой, передающей изображения концов пузырька и шкалы ампулы уровня в поле зрения трубы. Такое совмещение концов пузырька контактного уровня производится элевационным винтом 1. Предварительное горизонтирование нивелира выполняют по установочному круглому уровню. Для взятия отсчетов по рейке нивелир снабжен оптическим микрометром, который состоит из расположенной перед объективом зрительной трубы плоскопараллельной пластинки и механизма ее наклона с отсчетной шкалой и головкой 2.

Изображение отсчетной шкалы микрометра передается в нижнее окно поля зрения трубы. Шкала оптического микрометра имеет 100 делений. При повороте головки микрометра на одно деление шкалы плоскопараллельная пластинка наклоняется и визирный луч перемещается параллельно начальному положению на 0,05 мм. При полном обороте головки микрометра плоскопараллельная пластина смещает визирный луч на 5 мм — расстояние, равное интервалу между штрихами нивелирной рейки. Наблюдатель воспринимает смещение визирного луча при наклоне плоскопараллельной пластинки как смещение сетки нитей вдоль рейки. Сетка нитей нивелира имеет вертикальную нить, дальномерные штрихи и клиновой биссектор, служащий для точного совмещения штриха рейки с горизонтальной нитью (рис. 46).

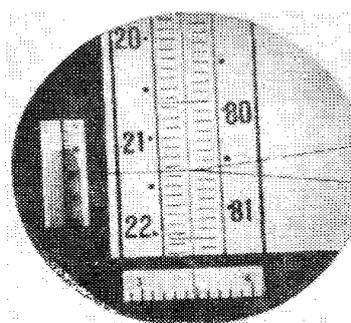


Рис. 46. Поле зрения трубы нивелира Н05

В комплект нивелира Н05 входят две деревянные трехметровые рейки РН05 и штатив. Рейка имеет инварную полосу, на которую нанесены деления двух шкал, смещенных относительно друг друга на 2,5 мм. Штрихи шкал, толщиной 1 мм, нанесены через 5 мм. Основная шкала имеет оцифровку через полудециметр 0...60, дополнительная — 60...119 полудециметров. Полоса инвара натянута с усилием 196,2 Н (20 кг), к рейке прикреплены две ручки и круглый уровень для установки ее в вертикальное положение.

Нивелир приводят в рабочее положение вращением подъемных винтов, перемещая пузырек круглого уровня в нуль-пункт. Для взятия отсчета наводят зрительную трубу на рейку так, чтобы вертикальная нить сетки оказалась левее шкалы рейки. Закрепляют трубу и фокусируют изображение рейки. Затем вращением элевационного винта точно совмещают концы пузырька контактного уровня, видимые в боковом окне поля зрения трубы (см. рис. 46). После этого поворотом головки 2 механизма наклона плоскопараллельной пластинки наводят биссектор сетки нитей на ближайший штрих шкалы рейки и берут отсчеты по рейке и отсчетной шкале микрометра. На рис. 46 по правой стороне инварной полосы они соответственно равны 80,6 полудециметра, по микрометру — 35. Полный отсчет в полудециметрах равен 80,635. Для получения отсчета в мм его умножают на пять (403,18 мм), аналогично берут отсчет по левой шкале полосы рейки.

II.1.3. Светодальномеры

В комплект светодальномера входят приемопередатчик и отражатель. В приемопередатчике свет модулируется с частотой f и происходит излучение световых волн с длиной волн модуляции λ . После отражения световых волн установленным в конце измеряемого отрезка прямой линии отражателем они возвращаются в приемопередатчик. Так как расстояние до отражателя и обратно практически всегда не равно целому числу длины волны, происходит сдвиг волны по фазе ϕ , который измеряют фазоизмерительным устройством, после чего расстояние s вычисляют по формуле

$$2s = N\lambda + \phi\lambda.$$

Целое число волн N определяют в результате анализа данных измерений на разных (двух-трех) частотах. Светодальномеры-автоматы выдают значение расстояния в цифровой форме.

Светодальномеры выпускают в виде светодальномерной насадки на теодолит, отдельного комплекта приборов или встроенной части электронного тахеометра (рис. 47, 48). Электронные тахеометры регистрируют результаты измерений в памяти для передачи на компьютер.

Точность светодальномерных измерений характеризуется ошибкой, равной

$$m_s = a + bs,$$

где a и b — коэффициенты, s — длина измеряемой линии (ГОСТ 19223—82).

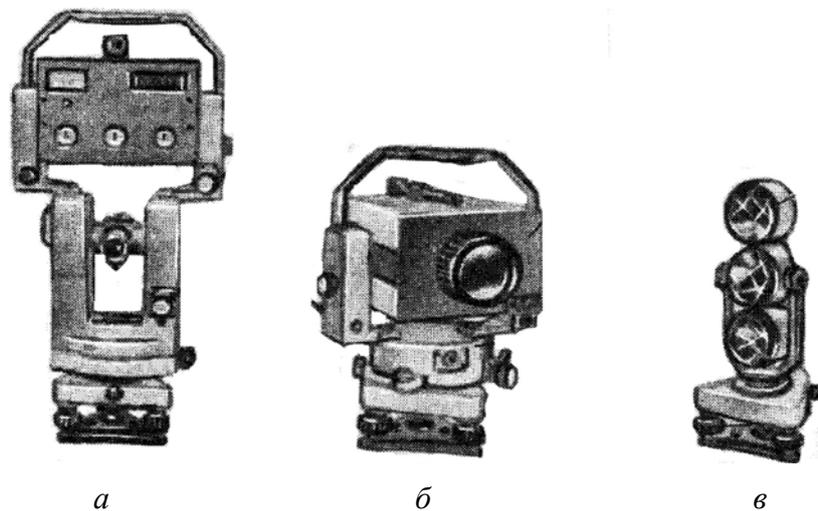


Рис. 47. Светодальномер: *а* — отдельный комплект приборов; *б* — светодальномер СМ5; *в* — отражатель

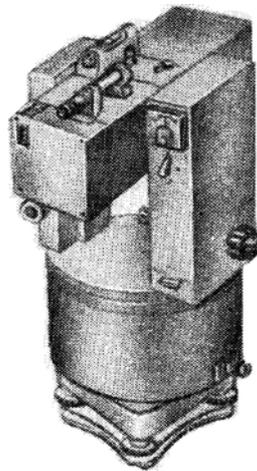


Рис. 48. Светодальномер МСД1М

II.2. Плановая геодезическая основа строительства автомобильных дорог

II.2.1. Общие сведения о разбивочной сети

В качестве плановой основы строительства транспортных сооружений используют пункты специально создаваемой опорной геодезической сети, называемой разбивочной сетью. От этих пунктов в ходе строительства выносят в натуру трассу автомобильной дороги и оси транспортных сооружений.

В соответствии со строительными нормами и правилами средние квадратические ошибки координат пунктов геодезической сети не должны превышать 6 мм.

При составлении проекта разбивочной сети соблюдают условия обеспечения требуемой точности определения координат пунктов сети при возможно меньшем объеме измерений, а также удобства выполнения последующих разбивочных работ. Пункты разбивочной сети стремятся максимально приблизить к трассе автомобильной дороги.

В местах строительства мостов расположенные на берегах пункты разбивочной сети невозможно приблизить к местоположениям русловых опор. В результате в наиболее неблагоприятных условиях оказывается удаленная от обоих берегов опора, расположенная посреди русла. Основными методами разбивки центра такой опоры являются угловые (теодолитные) и линейные (светодальномерные) засечки. Для выполнения прямой угловой засечки на пунктах измеряют горизонтальные углы, для линейной засечки измеряют расстояния. Для обратной угловой засечки горизонтальные углы измеряют теодолитом, установленным на опоре. Наибольшая точность определения положения точки при прямых засечках достигается, когда угол засечки $\gamma = 90^\circ$. В триангуляции связующие углы не должны быть меньше $25 \dots 30^\circ$.

Изложенные общие положения не являются безусловно обязательными. Не всегда возможно достижение указанного выше оптимального типового расположения пунктов разбивочной сети. В наибольшей степени точность разбивки зависит от точности применяемых приборов. Поэтому в каждом отдельном случае, намечая расположение пунктов опорной сети и проектируя способы выноса в натуру трассы автомобильной дороги и точек транспортного сооружения, необходимо при выбранном расположении пунктов рассчитывать ожидаемые погрешности этих работ. К наиболее распространенным методам построения разбивочной сети дорог и транспортных сооружений относятся триангуляция, линейно-угловая сеть и полигонометрия.

II.2.2. Пункты разбивочной сети автомобильной дороги

Пункты сети располагают в местах с устойчивыми грунтами и горными породами, для обеспечения их сохранности — вне зоны строительных работ. В течение всего периода строительства должна обеспечиваться видимость по сторонам сети и удобство выполнения разбивочных работ.

Пункты разбивочной сети и трассу автомобильной дороги закрепляют на местности постоянными знаками. Главные точки трассы фиксируют деревянными столбами диаметром не менее 15 см. Верхний конец столба затесывают на конус, а на нижнем конце устраивают якорь. Столб вкапывают на глубину, превышающую на 0,5 м глубину промерзания грунта. Знак окапывают канавой глубиной 0,3 м в виде буквы П или квадрата со стороной 1,5 м, а вокруг столба насыпают холмик высотой 0,1 м. Коническую часть столба окрашивают белой или красной краской. Центр отмечают крестообразной насечкой на шляпке гвоздя, забиваемого в вершину столба.

Ось моста длиной больше 100 м закрепляют железобетонными знаками. Если она пересекает остров, на нем дополнительно устанавливают осевой знак. Основание знака должно быть также на 0,5 м ниже глубины промерзания грунта, а его верх — на уровне земли. Размер знака сверху — 20...25 см, внизу — 35...40 см. Центр знака отмечается и выступающим из его верхнего торца рельсом или штырем с крестообразной насечкой (иногда высверленным отверстием). Вместо бетонного монолита в качестве знака может быть использована металлическая труба диаметром не менее 6 см, нижний конец которой вцементируют в бетонный якорь.

Другие пункты разбивочной сети закрепляют знаками аналогичной или другой близкой конструкции, руководствуясь рекомендациями, изложенными в нормативных документах.

Для ослабления влияния рефракции на точность угловых и светодальномерных измерений при выборе положения пунктов стремятся, чтобы лучи визирования проходили возможно выше над земной поверхностью, растительностью и сооружениями. Для обеспечения нужной высоты визирного луча теодолита над центром пункта сооружают пирамиду со столиком наверху для установки прибора.

Для исключения ошибок при выполнении разбивочных работ необходимо провести контрольные измерения, подтверждающие достаточную устойчивость и неподвижность пунктов. Контроль устойчивости положения пунктов рекомендуется выполнять один-два раза в год путем измерений на нескольких пунктах разбивочной сети углов между направлениями на смежные пункты. Результаты измерений, выполненных в разных циклах, не должны различаться больше чем на допустимую точность. Различия в величине углов свидетельствуют о смещении какого-то из пунктов. Если в разных циклах они превышают удвоенную допустимую среднюю квадратическую ошибку измерения угла, необходимо всю разбивочную сеть вновь отнаблюдать, вычислить новые значения координат пунктов, длин сторон сети и их дирекционные углы.

II.2.3. Схемы построения разбивочных сетей

Триангуляция. Построение разбивочной сети выполняют в виде сети треугольников, в которых измеряют все углы и длины начальной и конечной (базисных) сторон. Применение триангуляции позволяет ограничиться измерением малого числа относительно коротких расстояний.

Расположение базисной линии при измерении ее мерными приборами (инварными или стальными проволоками, компарированными рулетками, шкаловыми лентами) выбирают в местах с плотным грунтом на ровном участке с общей крутизной склонов не более 2° . Длина базисов должна быть такой, чтобы углы сети были не меньше $25...30^\circ$. Для снижения трудоемкости вместо мерных приборов целесообразно использовать светодальномеры.

Мостовую триангуляцию и некоторые другие виды разбивочных сетей часто строят в виде геодезических четырехугольников, обладающих высокой геометрической жесткостью. В них для контроля линейных измерений определяют два базиса и все углы. При построении базиса создают два пункта, расположенные в стороне от оси моста и образующие удобную базу для разного рода засечек. Еще удобнее для разбивочных работ иметь пункты разбивочной сети по обе стороны от оси транспортного сооружения. Для этого триангуляция строится в виде двух геодезических четырехугольников. Если дальность действия применяемого для измерения базисных сторон светодальномера позволяет, в качестве базисов используют более длинные стороны, измерение которых обеспечивает большую точность сети.

Пункты мостовой триангуляции располагают на островах или на сваях. На широкой пойме ось моста привязана к геодезическому четырехугольнику дополнительными построениями.

Линейно-угловая сеть. Полигонометрия. По мере оснащения предприятий геодезического профиля светодальномерами возрастает использование линейно-угловой разбивочной сети, при построении которой измеряют и горизонтальные углы, и длины сторон. Часто ее строят в виде одного или двух геодезических четырехугольников (рис. 49, а). При отсутствии возможности измерения всех сторон, также как и в триангуляции, желательно измерение более длинных (рис. 49, б, в), так как с увеличением измеряемых расстояний уменьшаются относительные ошибки.

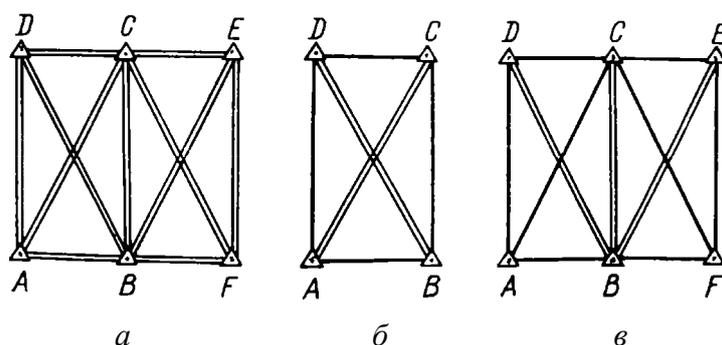


Рис. 49. Схемы линейно-угловой сети: а — в виде двух четырехугольников; б, в — сеть с измерением длинных сторон

Для выполнения разбивочных работ автомобильной дороги наиболее удобна сеть в виде полигонометрии, при создании которой прокладывают один или два (по разные стороны оси трассы) полигонометрических хода. При закреплении на линиях хода точек, соответствующих пикетажу опорных точек трассы, создаются удобные условия для их разбивки. Такие пункты, расположенные вне зоны строительных работ, сохраняются на все время строительства, их положение может быть легко проконтролировано повторными измерениями и при необходимости восстановлено.

Трилатерация. В трилатерации измеряют длины сторон треугольников. Чаще всего свободную трилатерацию строят также в виде сети геодезических четырехугольников. По измеренным длинам сторон вычисляют углы, а затем координаты пунктов. Трилатерацию применяют, когда угловые измерения затруднены туманами, чередующимися с сильными рефракционными явлениями. Тогда трилатерационные построения с использованием светодальномеров становятся наиболее рациональным способом создания сети. Кроме того, метод трилатерации является наиболее эффективным в сильно пересеченной местности, когда из-за больших превышений строят пространственную, т. е. трехмерную геодезическую сеть.

Схемы, представленные на [рис. 50](#), обеспечивают размещение пунктов сети, удобное для последующих разбивочных работ, и необходимый контроль точности выполненных измерений.

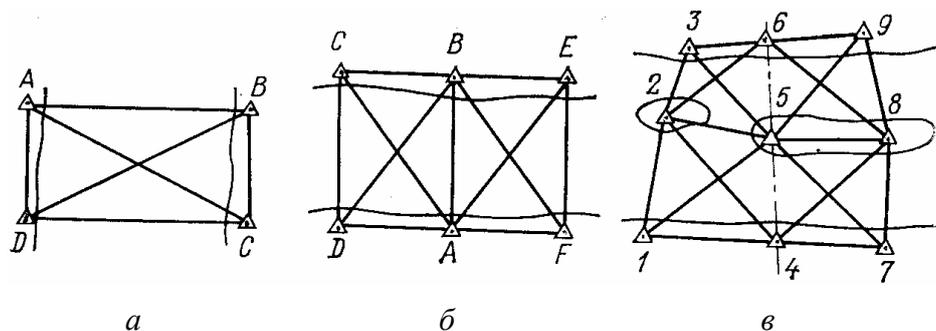


Рис. 50. Схемы трилатерации: *a* — один геодезический четырехугольник; *б* — два геодезических четырехугольника; *в* — центральная геодезическая сеть

II.3. Высотная геодезическая основа дорожного строительства

II.3.1. Требования к точности определения отметок реперов

Отметки реперов высотной сети определяют в Балтийской системе высот или в системе высот рабочего проекта транспортного сооружения. Согласно СНиП, средние квадратические ошибки определения отметок постоянных реперов высотной сети автомобильной дороги не должны превышать 3 мм, временных реперов — 5 мм. Постоянные реперы высотной сети, предназначенные в основном для контроля за положением временных реперов и наблюдений за деформациями транспортных сооружений, размещают, как правило, в устойчивых грунтах за пределами площади возможных земляных работ. При строительстве больших и внеклассных мостов, длиной более 300 м, на обоих берегах закладывают по два постоянных репера, средних и малых мостов — по одному. На мостах длиной до 50 м ограничиваются репером на одном берегу.

Временные рабочие реперы располагают непосредственно на строительном участке и на сооружениях. От рабочих реперов передаются проектные отметки на все элементы транспортного сооружения.

Для определения отметок реперов в Балтийской системе высот проводится привязка высотной сети автомобильной дороги к реперам государственной нивелирной сети. Реперы, расположенные на противоположных берегах реки, связывают нивелированием через водное препятствие. При невозможности этого каждый репер дорожной сети привязывают не менее чем к двум реперам государственной нивелирной сети. Пункты высотной геодезической сети надежно закрепляют. Закладку постоянных реперов высотной сети транспортного сооружения выполняют согласно указаниям действующих инструкций и руководств.

В качестве временных реперов могут служить забитые в грунт сваи, шпунтины или рельсы, заложенные на глубину ниже уровня промерзания грунта, деревянные столбы, пни деревьев, а также закладываемые в фундамент строения опоры штыри, обрезки уголкового железа.

Отметки временных реперов определяют геометрическим нивелированием от постоянных реперов. Нивелирование высотной сети в зависимости от вида и параметров сооружения и условий передачи высот выполняют по методикам технического, IV, III или II класса нивелирования.

Для простой по форме сети, в которой реперы связаны одним нивелирным ходом, допустимая средняя квадратическая ошибка на 1 км хода будет равна

$$\eta = \frac{m_0}{\sqrt{L}},$$

где m_0 — погрешность определения отметок реперов высотной сети моста относительно исходного пункта, равная 3 мм для постоянных реперов и 5 мм — для временных; L — длина хода в км.

При прокладке между реперами двух независимых ходов, допустимую среднюю квадратическую ошибку вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{m_0 \sqrt{2}}{\sqrt{L}} = \frac{1,41m_0}{\sqrt{L}}.$$

Зная среднюю квадратическую ошибку на 1 км хода, определяют класс нивелирования.

II.3.2. Методика нивелирования

Нивелирование II класса выполняют нивелирами типа Н05 с использованием штриховых инварных реек типа РН05 или цифровыми электронными нивелирами аналогичной точности. Каждую линию нивелируют дважды в прямом и обратном направлениях с соблюдением требований, приведенных в табл. 5

Таблица 5

Основные технические требования и допуски

Параметр	Допуски		
	Класс нивелирования		
	II	III	IV
Нормальная длина визирного луча, м	65	75	100
Неравенство расстояний от нивелира до реек на станции, м	1	2	5
Накопление неравенств расстояний, м	2	5	10
Высота луча визирования над поверхностью земли не менее	0,5	0,3	0,2
Расхождения в превышениях на станции, вычисленных по разным шкалам реек, мм	0,7	3(1,5)*	5
Расхождение в превышениях, полученных из прямого и обратного ходов, мм, где L — длина хода в км, когда среднее число станций на 1 км:			
менее 15	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	—
больше 15	$6\sqrt{L}$	—	—
Допустимая невязка хода или полигона, мм	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$

* При взятии отсчетов по способу совмещения.

Нивелирование III класса выполняют при построении высотных разбивочных сетей протяженностью до 1 км нивелирами НЗ и НЗК с использованием шашечных реек типа РНЗ. Каждую линию хода нивелируют в прямом и обратном направлениях.

Нивелирование IV класса применяют для определения высот временных реперов. Ходы нивелирования прокладывают между постоянными реперами в одном направлении. Для нивелирования применяют также нивелиры НЗ и НЗК с комплектом трехметровых шашечных реек РНЗ.

II.3.3. Обработка данных нивелирования

Обработка материалов нивелирования включает вычисление превышений и уравнивание сети. Сначала по результатам дальномерных измерений определяют длины нивелирных линий, вычисляют общие превышения между реперами и по секциям, невязки в превышениях по линиям и в полигонах и определяют их допустимость. Затем составляют рабочую схему нивелирной сети, на которой показывают стрелками направления линий нивелирования и вписывают номера исходных и узловых реперов, номера линий, их длины, измеренные превышения, номера полигонов, значения невязок.

При уравнивании нивелирной сети в основном применяют два способа — узлов и полигонов.

Компьютерные программы для уравнивания высотных сетей обычно разрабатывают с использованием *способа узлов*. После вычисления приближенных отметок узловых точек составляют систему нормальных уравнений.

Составленные с использованием приведенных формул программы применяют и для оценки точности проектов нивелирных сетей, имеющих сложные схемы построения.

Способ полигонов, разработанный В. В. Поповым, является простым и в то же время строгим. Уравнивание сети состоит в последовательном распределении в каждом полигоне невязок — введении поправок пропорционально длинам секций (или числу станций в них). Отношение длины секции (числа станций) к общей длине (числу станций) полигона называется красным числом.

На рабочей схеме сети, составленной в достаточно крупном масштабе, буквами обозначают исходные и узловые точки, а числами в кружочках — длины звеньев, выражая их в сотнях метров.

На [рис. 51](#) приведен пример уравнивания несвободной высотной сети с двумя исходными пунктами. Исходные точки *A* и *D* соединяют прерывистой линией. При этом образуется еще один полигон, который также включают в уравнивание.

Внутри каждого полигона на схеме вычерчивают П-образные рамки, над которыми пишут номера полигонов, а ниже — величины невязок в них. Около каждого из наружных звеньев *AF*, *FE* и *ED* вычерчивают снаружи сети по одной прямоугольной рамке для записи поправок. Для внутренних звеньев

Распределение невязок начинают с полигона, имеющего наибольшую по абсолютной величине невязку (в приведенном примере — с полигона I). Умножая невязку (+15) последовательно на красные числа этого полигона, подписанные над прямоугольными рамками снаружи его (0,32; 0,18; 0,29; 0,21), записывают полученные поправки внутри соответствующих рамок со знаком невязки полигона. Для звеньев *EF*, *FB*, *BC* и *CE* полигона I поправки получатся равными +5 мм, +3 мм, +4 мм, +3 мм.

Сумма этих чисел равна невязке полигона. Выполненное распределение невязки в полигоне I отмечают ее отчерчиванием.

Следующей обработке подлежат данные полигона III. В нем вторая по величине невязка — 11. В его звено *BC* перешла из полигона I поправка (+4). Результативная невязка полигона III (–11) – (+4) = (–7). Ее вписывают в II-образную рамку полигона III под числом 11. Полученную невязку (–7) умножают на красные числа полигона III и вычисленные поправки в звеньях *AB*, *BC* и *CD* (–2, –3, –2) вписывают в вычерченные снаружи от него прямоугольные рамки. Аналогично обрабатывают данные в полигонах IV и II. Приведенные расчеты завершают первый цикл введения поправок.

Второй цикл распределения невязки начинают также с полигона I. В результате обработки данных превышения в звеньях *FB*, *BC* и *CE* в первом цикле получили поправки (–2, –3, –3). При этом получилась новая суммарная невязка полигона (–8). Ее записывают в II-образной рамке под отчеркнутой невязкой (+15), и распределяют, умножая на красные числа звеньев так же, как и в первом цикле. Затем распределяют получившиеся в результате сложения соответственных поправок новые невязки полигонов III, IV и II. После завершения второго цикла переходят к третьему и т. д. Работу заканчивают, когда невязки в полигонах после введения в их звенья поправок станут не более 1 мм. Затем во всех вычерченных рамках вычисляют сумму поправок и подписывают ее под рамкой. Окончательная величина поправки в превышение равна взятой с обратным знаком, вычисленной сумме поправок, например, для звена *BC* она равна (+3). Поправка в превышение по общему звену смежных полигонов равна суммарной поправке, написанной около звена внутри полигона, минус суммарная поправка, написанная около этого же звена вне полигона. Для секции *BF* она будет равна (+5), а для секции *EB* — (–5). Для контроля вычисляют сумму поправок в каждом полигоне, которая должна равняться невязке, взятой с обратным знаком.

Точность результатов измерений оценивают по величине средней квадратической ошибки единицы веса, являющейся средней квадратической погрешностью на 1 км хода:

$$\mu = \sqrt{\frac{v^2 / s}{n}},$$

где *v* — поправки превышений по звеньям сети, найденные в результате уравнивания; *s* — длина звена, выраженная в километрах; *n* — число избыточно измеренных величин (равное сумме количества полигонов в сети и числа избыточных исходных данных).

II.4. Вынос точек трассы автомобильной дороги в натуру

II.4.1. Плановая разбивка трассы

Плановая разбивка сооружения состоит из разбивки его осей и детальной разбивки строительного объекта. Разбивку осей трассы выполняют от пунктов геодезической сети. Ее назначение — вынос в натуру точек, фиксирующих на местности пересечения осей и границы сооружения. Детальную разбивку сооружения выполняют отложениями от его осей расстояний и (или) углов.

Способ полярных координат. Положение выносимой в натуру точки P (рис. 52, *a*) определяется построением направления $1-t$ из опорной точки 1 и отложением по этому направлению расстояния s $A-P$, соответствующего горизонтальному проложению отрезка проектной линии d . Направление $1-t$ определяют теодолитом, установленным в точке 1 , построение разбивочного угла β выполняют от направления на опорный пункт 2 . Расстояние s откладывают лентой, рулеткой или при помощи светодальномера. Величинам угла и расстояниям соответствуют координатные линии или изолинии положения, в пересечении которых лежит точка P . Углу β соответствует прямая $1-t$ — геометрическое место точек, лежащих в заданном направлении. Расстоянию s соответствует дуга окружности qq' — геометрическое место точек, расположенных на заданном расстоянии s от пункта 1 .

Точность выноса в натуру точки методом полярных координат определяется точностью построения разбивочного угла и разбивочного расстояния и зависит от ее удаленности от опорного пункта.

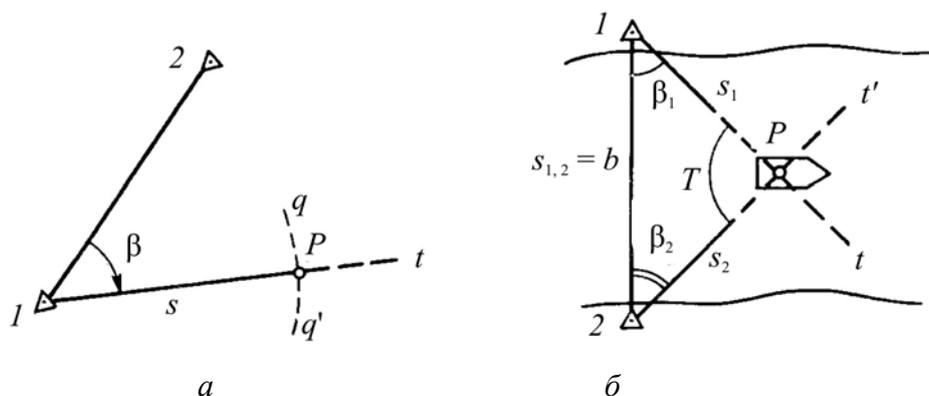


Рис. 52. Схема вынесения точки в натуру: *a* — способом полярных координат, *б* — способом прямой угловой засечки

Способ прямой угловой засечки. Положение точки P (см. рис. 52, *б*) определяется двумя направлениями: $1-t$ — из опорной точки 1 и $2-t'$ — из опорной точки 2 . Для нахождения этих направлений в точках 1 и 2 теодолитами строят разбивочные углы β_1 и β_2 . В точке 1 , отложив от исходного направления $1-2$ угол β_1 , ориентируют визирную ось зрительной трубы теодолита по направлению $1-t$. Построив в точке 2 от направления $2-1$ угол β_2 , ориентируют визирную ось теодолита по направлению $2-t'$. Выносимая в натуру точка P определится пересечением направлений $1-t$ и $2-t'$. Для определения

положения точки P по указаниям наблюдателей, находящихся в пунктах 1 и 2 , устанавливают вешку в точку пересечения визирных осей зрительных труб обоих теодолитов. Для контроля выполняемого построения теодолит устанавливают на еще одном опорном пункте и аналогично находят направление на точку P , которое должно пересечься с ранее построенными в той же точке (отклонение не должно превышать допуск).

Точность прямой засечки зависит от точности построения разбивочных углов, удаленности выносимой в натуру точки P от опорных пунктов, а также от величины угла пересечения линий засечки. Разбивку точки способом прямой угловой засечки производят с опорных пунктов, расположение которых обеспечивает пересечение визирных линий теодолитов под углами не менее 30° и не более 150° .

При разбивке точки на неподвижном основании не обязательно одновременное построение углов на двух опорных пунктах. В точке устанавливают вешку, а на опорных пунктах строят углы β_1 и β_2 (рис. 53), используя которые вычисляют координаты точки P .

Для корректировки ее положения методом редуцирования с опорных пунктов несколькими приемами измеряют углы β_1 и β_2 и расстояния до этой точки, вычисляют ее координаты и их отличия от проектных $X_{пр}$ и $Y_{пр}$:

$$R_x = X_{пр} - X_p;$$

$$R_y = Y_{пр} - Y_p.$$

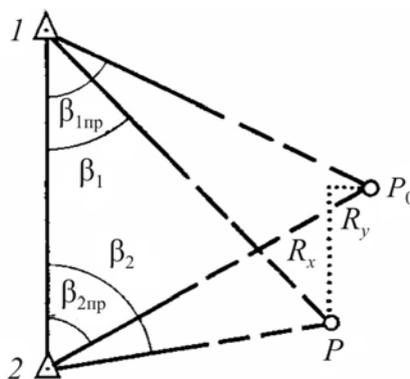


Рис. 53. Схема применения редуцирования при вынесении точки в натуру

Отложив расстояния R_x и R_y по направлениям координатных осей X и Y , находят проектное положение P_0 . Преимущество способа состоит в том, что при отложении небольших расстояний R_x и R_y погрешности меньше, чем при определении положения точки P относительно опорных пунктов.

Способ обратной засечки. На местности находят точку P (рис. 54, а), из которой опорные пункты 1 , 2 и 3 наблюдаются под углами, близкими к величинам проектных значений углов β_1 и β_2 , являющихся разбивочными элементами. Углам β_1 и β_2 соответствуют координатные линии, представляющие собой геометрическое место точек, по отношению к которым пункты 1 и 2 расположены под соответствующим ему направлениям.

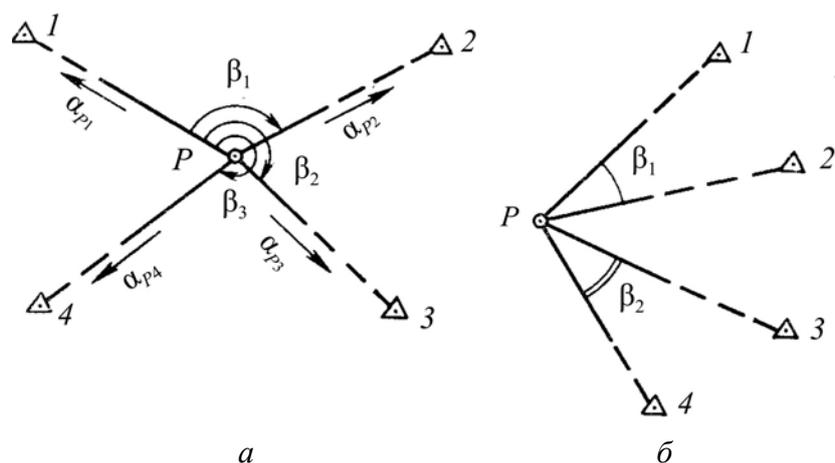


Рис. 54. Схема обратной засечки: *a* — со смежными углами; *б* — с несмежными углами

Для выноса в натуру точки необходимы две координатные линии, т. е. выполнение построения двух углов.

Определение положения разбиваемой точки P_0 относительно точки установки теодолита P выполняют применением метода редуцирования.

Точность вынесения в натуру точки способом обратной засечки зависит от точности измерения углов и β_1 и β_2 и взаимного расположения точки P и опорных пунктов 1, 2 и 3. Линии положения должны пересекаться под углом не менее 30° и не более 150° .

Удобство способа обратной засечки состоит в том, что все измерения выполняют теодолитом, установленным на одном пункте; на опорных геодезических пунктах устанавливают только визирные цели. Недостаток — при положении точек на одной окружности наложение искомой точки способом обратной засечки невозможно.

Способ линейной засечки. Положение выносимой в натуру точки определяется проектными расстояниями до нее от опорных пунктов. Геометрическое место точек, расположенных на определенном расстоянии от опорного пункта, представляет дугу окружности с центром в этом пункте и радиусом, равным заданному расстоянию.

Вынесение точки в натуру способом линейной засечки обычно выполняют при проектных расстояниях, не превышающих длины мерного прибора. При значительных расстояниях для измерений используют светодальномер, и вынесение точки в натуру выполняется с применением приема редуцирования.

Точность линейной засечки определяется точностью измерения (или отложения) разбивочных расстояний и величиной угла пересечения линий положения — угла между направлениями на опорные пункты. Он должен быть в пределах $30...150^\circ$.

Способ линейно-угловой обратной засечки. На вспомогательной точке, выбранной ориентировочно вблизи проектного положения выносимой в натуру точки, устанавливают электронный тахеометр, позволяющий измерять углы и расстояния. На опорном пункте устанавливают отражатель. Измеряют

горизонтальный угол и расстояние от прибора до опорного пункта, при помощи которых определяют координаты точки установки прибора. Затем вычисляют элементы редукции, равные отклонениям вычисленных координат от проектных. Отложив по направлениям координатных осей отрезки, соответствующие этим отклонениям, находят положение проектной точки.

К достоинствам способа следует отнести высокую точность и простоту формул для обработки результатов измерений.

Способ прямоугольных координат (перпендикуляров). При этом способе положение выносимой в натуру точки определяется двумя расстояниями, одно из которых откладывают по направлению разбивочной оси, а другое — в перпендикулярном направлении. Разбивочной осью обычно служит одна из осей сооружения или другие ранее вынесенные на местность линии (красные линии застройки, линии строительной сетки и т. д.). При строительстве автомобильной дороги такой осью служит линия трассы. При разбивке дорожного полотна абсциссой выносимой в натуру точки является измеряемое по пикетажу трассы расстояние, а ординатой — длина перпендикуляра.

Способ створов. При способе створов положение выносимой в натуру точки определяется пересечением двух закрепленных на местности линий (створов). Створы обычно строят теодолитами, устанавливаемыми на конце каждой створной линии и ориентируемым по точке на другом конце, а при коротких расстояниях — натяжением монтажной проволоки (струны).

Способ свободной станции по существу является развитием приема редукционирования, применяемого при выполнении обратной, линейной и других засечек. В произвольной точке местности, из которой виден участок, на котором необходимо выполнение выноса в натуру точек сооружения, устанавливают электронный тахеометр или теодолит со светодальномерной насадкой. По результатам угловых и линейных измерений до опорных пунктов, используя программированные микрокалькуляторы или ноутбуки, в полевых условиях вычисляют координаты точки установки прибора и дирекционные углы направлений на пункты опорной сети. По значениям проектных координат выносимой точки и определенным координатам точки стояния прибора вычисляют разбивочные элементы — расстояние и угол между направлениями на точку и на опорный пункт. Построив этот угол и отложив расстояние, находят положение разбиваемой точки.

Способ полигонометрии применяют для разбивки трасс автомагистралей, временных дорог и придорожных гидротехнических сооружений. На местности прокладывают опирающийся на пункты геодезической основы теодолитный ход с вершинами в выносимых в натуру точках. Для проложения хода значения его углов поворота и длин сторон вычисляют по проектным координатам выносимых в натуру точек и координатам пунктов геодезической основы. Затем, начиная с опорного пункта, поочередно строят углы и откладывают расстояния, разбивая все точки хода. При этом конечная точка хода должна совпасть или быть вблизи пункта геодезической основы. Величина несовпадения положения последней точки хода с опорным пунктом (расстоя-

ние между ними) является невязкой хода. Она не должна превышать допуска. Если невязка допустимая, то вносят поправки в положения всех вершин хода, смещая их параллельно направлению линии невязки на отрезки, пропорциональные расстоянию от начального опорного пункта.

II.4.2. Вычисление разбивочных углов и расстояний

Разбивочные работы выполняют по расчетным значениям разбивочных элементов — углов и расстояний, связывающих выносимые в натуру точки с опорными пунктами и другими закрепленными на местности точками с вычисленными координатами. При разбивке главных осей сооружений используют только пункты геодезической сети, исходными данными для расчета разбивочных элементов являются координаты пунктов геодезической сети и выносимых в натуру точек.

Решением обратной геодезической задачи находят проектные значения расстояний и дирекционных углов с первых точек на вторые. Румб линии вычисляют по формуле

$$r = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

По формулам связи (в зависимости от четверти) определяют дирекционный угол. Четверть направления румба определяется по знакам Δy и Δx («+» или «-»).

При детальной разбивке точек строительных объектов в качестве исходных используют ранее вынесенные в натуру оси сооружения. Наиболее часто применяют способы прямоугольных координат, створов и полярных координат.

Способы выполнения разбивочных работ определяют в ходе проектирования, составляя при этом разбивочные чертежи, на которых показывают, с каких пунктов и какими способами выполняется вынос в натуру проектных точек. На чертежи вписывают значения вычисленных разбивочных углов и расстояний.

II.4.3. Вертикальная разбивка автомобильной дороги

При вертикальной разбивке сооружений от постоянных или временных реперов выносят в натуру точки с проектными отметками, передают отметки на монтажные горизонты сооружений, выполняют разбивку линий с заданным уклоном.

Вынесение в натуру точки с заданной отметкой производят от ближайшего строительного репера. Для этого в середине между репером (точка A) и проектной точкой сооружения B устанавливают нивелир, приводят его в рабочее положение, ставят рейку на репер и берут по ней отсчет a (рис. 55). Вычисляют значение горизонта прибора ГП следующим образом:

$$\text{ГП} = H_A + a.$$

Отсчет b , при котором пятка рейки, установленной в точке B , будет находиться на проектной высоте, вычисляется следующим образом:

$$b = \text{ГП} - H_{\text{пр.}}$$

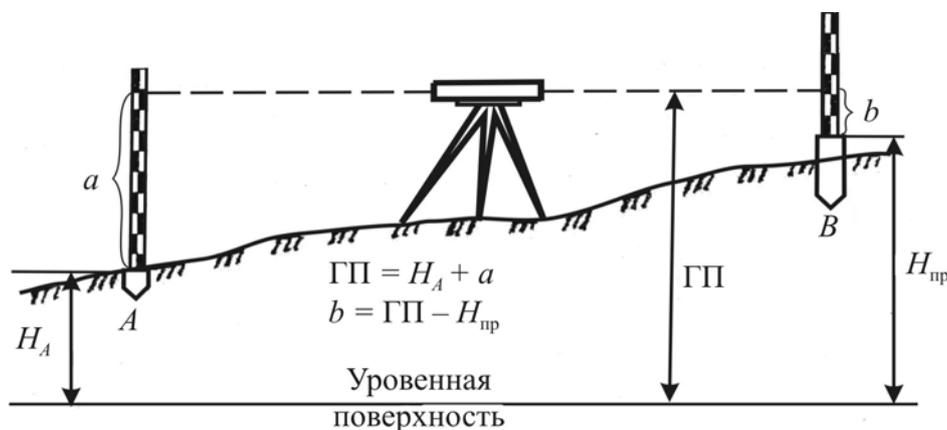


Рис. 55. Перенесение на местность точки с заданной проектной отметкой

В точке B забивают колышек, устанавливают на него рейку и берут отсчет. Если он меньше вычисленного, то колышек заглубляют до получения отсчета, равного расчетному. При отсчете больше вычисленного необходим более высокий колышек.

Для контроля работу выполняют при двух горизонтах прибора или используют двусторонние рейки. Расхождение не должно превышать 5 мм.

Построение на местности линии с заданным уклоном. Для построения отрезка линии с проектным уклоном с помощью горизонтального луча визирования расстояние между его начальной и конечной точками делят на отрезки d , концы которых закрепляют. Нивелир устанавливают примерно посередине линии так, чтобы расстояние до ближайшей закрепленной точки было не менее 3 м. Снимают отсчет a по черной стороне рейки, установленной на забитом до проектной высоты колышке в начальной точке линии A (рис. 56).

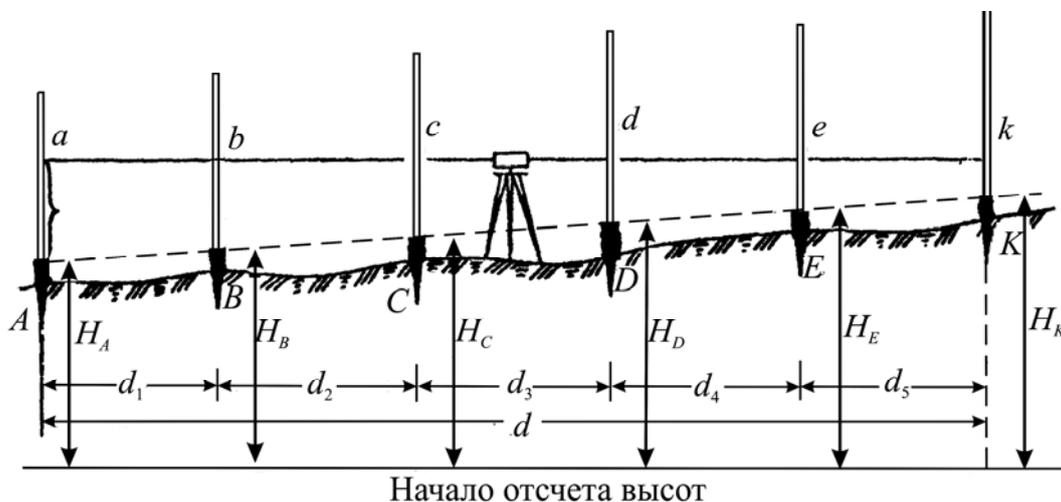


Рис. 56. Построение наклонной линии горизонтальным лучом

Затем по приведенным ниже формулам, в которые подставляют значения d , мм, вычисляют отсчеты по рейке при положении ее пятки на проектной высоте в точках B, C, D, E, K :

$$b = a - id;$$

$$c = a - i(d_1 + d_2);$$

$$d = a - i(d_1 + d_2 + d_3);$$

$$e = a - i(d_1 + d_2 + d_3 + d_4);$$

$$k = a - i(d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5).$$

Забивку кольшков до высоты точек проектной линии выполняют изложенным выше методом.

Передача проектной отметки на дно котлована. При большой глубине котлована на его бровке устанавливают кронштейн, на который подвешивают рулетку. Между строительным репером и рулеткой устанавливают нивелир, приводят его в рабочее положение и берут отсчеты по рейке, установленной на репере a и рулетке m (рис. 57). Затем устанавливают нивелир на дне котлована и берут отсчет по рулетке n . Отсчет по рейке b , при котором ее пятка будет находиться на проектной высоте, вычисляют по формуле

$$b = H_{\text{рп}} + a - (n - m) - H_{\text{пр}}.$$

Затем в грунт на дне котлована забивают кольшек, как было описано в предыдущем пункте.

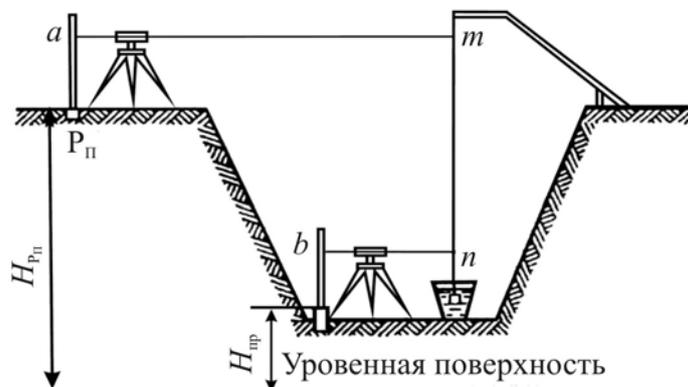


Рис. 57. Перенесение отметки на дно котлована

При проведении работ отсчеты по рейкам и рулетке рекомендуется делать при двух горизонтах прибора и при выполнении расчетов использовать их средние значения.

При необходимости в длину отрезка $n—m$, измеренного рулеткой, вводят поправки за компарирование, температуру и натяжение. Поправку за компарирование определяют по формуле

$$\Delta_k = \frac{\Delta l(n-m)}{l},$$

где Δl — поправка за компарирование на всю длину рулетки; l — длина рулетки.

Поправку за температуру выполняют по формуле

$$\Delta t = \alpha(n-m)(t - t_0),$$

где α — коэффициент линейного расширения стали; t и t_0 — температура во время измерений и при компарировании.

Поправка за отличие веса груза от силы натяжения при компарировании вычисляется по формуле

$$\Delta_p = \frac{(P - P_0)(n-m)}{SE},$$

где P — вес груза; P_0 — сила натяжения рулетки при компарировании; S — площадь поперечного сечения ленты рулетки; E — модуль упругости стали.

Целесообразно при компарировании использовать груз, имеющий вес, равный силе натяжения рулетки, тогда исключается необходимость введения поправки за натяжение.

ЧАСТЬ III. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО АЭРОГЕОДЕЗИИ И ПРИКЛАДНОЙ ГЕОДЕЗИИ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

III.1. Расчет основных параметров плановой аэросъемки

Для проектирования автомобильной дороги (АД) необходимо выполнить маршрутную, кадровую и плановую аэросъемку местности. Аэросъемку выполняют аэрофотоаппаратами (АФА) по запроектированному на карте мелкого масштаба маршруту, в котором должны быть указаны: масштаб аэроснимков, $1/m$; тип аэрофотоаппарата; фокусное расстояние съемочной камеры; формат аэроснимков ($l_x \times l_y$), см; рабочая скорость самолета W , км/ч; размеры съемочного участка ($D \times C$), км; наибольшая и наименьшая высоты точек местности над уровнем Балтийского моря (A_{\max} и A_{\min}), м.

Пример.

Исходные данные:

1. Тип самолета — АН-2.
2. Тип аэрофотоаппарата — «АФА-ТЭ».
3. Крейсерская скорость самолета W , км/час — 250 км/ч.
4. Фокусное расстояние съемочной камеры $f_k = 140$ мм.
5. Масштаб аэроснимка $1/m = 1 / 17000$.
6. ($l_x \times l_y$) = 18 см \times 18 см (размеры аэроснимка).
7. Размеры съемочного участка — 22 км \times 12 км.
8. $A_{\max} = 515$ м, $A_{\min} = 310$ м.

Последовательность выполнения работы:

1. Средняя высота поверхности территории над уровнем моря определяется по формуле

$$A_{\text{cp}} = (A_{\max} + A_{\min}) / 2.$$

Пример:

$$A_{\text{cp}} = (515 + 310) / 2 = 825 / 2 = 412,5 \text{ м.}$$

2. Наибольшее превышение точек местности над средней высотой поверхности вычисляется по формуле

$$h = A_{\max} - A_{\text{cp}} = A_{\text{cp}} - A_{\min}.$$

Пример:

$$h = 515 - 412,5 = 412,5 - 310 = 102,5 \text{ м}$$

или

$$h = (A_{\max} - A_{\min}) / 2.$$

Пример:

$$h = (515 - 310) / 2 = 205 / 2 = 102,5 \text{ м.}$$

3. Высота фотографирования вычисляется по формуле

$$H = f_{\text{к}} m.$$

Пример:

$$H = 140 \text{ мм} \cdot 17000 = 2\,380\,000 \text{ мм} = 2380 \text{ м.}$$

4. Вычисление величины продольного P и поперечного перекрытия Q выполняется с использованием данных табл. 6.

Таблица 6

Рекомендуемые продольные и поперечные перекрытия

Масштаб фотографирования	Перекрытия	
	продольное P , %	поперечное Q , %
1: 5000...1: 9000	$64 + 50 h / H$	$36 + 50 h / H$
1: 10 000...1: 24 000	$62 + 50 h / H$	$34 + 50 h / H$
1: 25 000...1: 34 000	$60 + 50 h / H$	$32 + 50 h / H$
1: 35 000 и мельче	$60 + 50 h / H$	$30 + 50 h / H$

На основании табл. 6 для масштаба фотографирования 1 / 17000 вычисляются проценты продольного и поперечного перекрытия по формулам:

$$P = 62 \% + 50h / H;$$

$$Q = 34 \% + 50h / H.$$

Пример:

Для масштаба фотографирования 1 : 17000:

$$P = 62 \% + \frac{50 \cdot 102,5}{2380} = 64,15 \% ;$$

$$Q = 34 \% + \frac{50 \cdot 102,5}{2380} = 36,15 \% .$$

5. Вычисление базиса фотографирования b (расстояния между главными точками соседних снимков) ([рис. 58](#)).

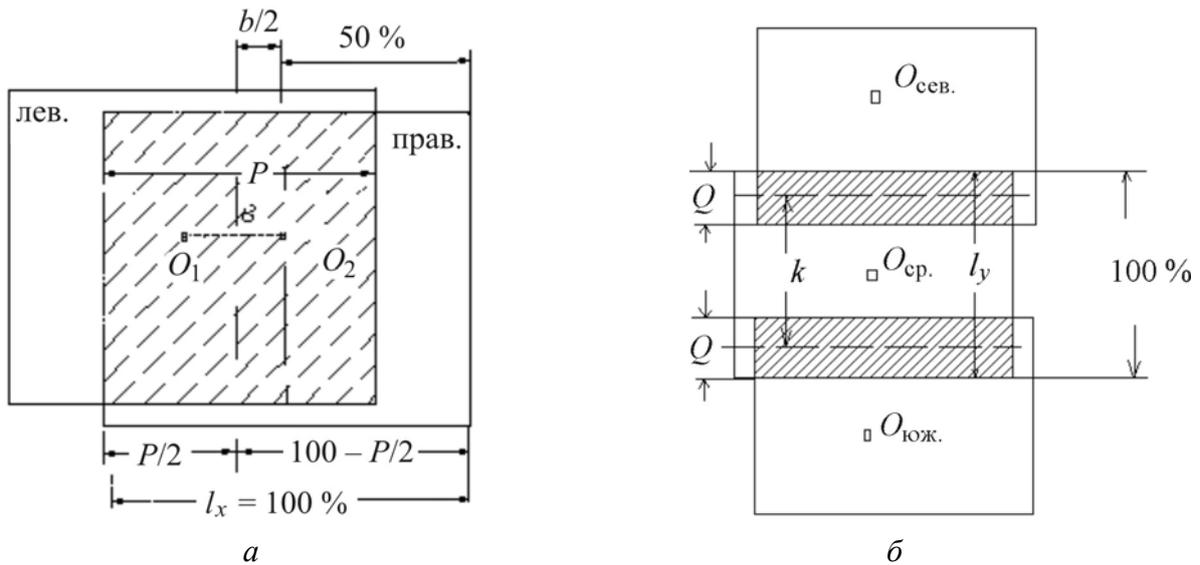


Рис. 58. Определение базиса фотографирования: *a* — вдоль маршрута; *б* — поперек маршрута

На снимке $b = \frac{l_x}{100\%} (100\% - P\%)$.

Пример:

$$b = \frac{18}{100\%} (100\% - 64,15\%) = 6,39 \text{ см.}$$

На местности $B = bt$.

Пример:

$$B = 6,39 \text{ см} \cdot 17000 = 108630 \text{ см} = 1086,3 \text{ м.}$$

6. Вычисление количества снимков в одном маршруте. Длину маршрута D в направлении с запада на восток делят на величину базиса B , к полученному числу прибавляют еще 3, чтобы на концах маршрута было по 1,5 дополнительных снимка, предназначенных для обеспечения надежности в съемке границ фотографируемого участка.

$$n = D / B + 3.$$

Пример:

$$n = 22000 / 1086 + 3 = 20,25 + 3 = 23,25 \approx 24 \text{ снимка}$$

или

$$n = \frac{D \cdot 10^7}{l_x (100 - P)t} + 3.$$

Пример:

$$n = \frac{2,2 \cdot 10^7}{18(100 - 64,15)17000} + 3 = 23,25 \approx 24 \text{ снимка.}$$

7. Вычисление количества маршрутов на съёмочном участке. Определяют на снимке ширину полосы местности, охватываемой рабочей частью аэро-снимка одного маршрута k ([см. рис. 58, б](#)).

$$k_{\text{см}} = \frac{l_y}{100\%}(100 - Q), \text{ см.}$$

Пример:

$$k_{\text{см}} = 0,18(100 - 36,15) = 11,493 \text{ см.}$$

Вычисляют рабочую ширину маршрута, охватываемую рабочей частью одного аэроснимка на местности k_1 :

$$k_1 = k_{\text{см}}m = \frac{l_y}{100\%}(100 - Q \%)m, \text{ м.}$$

Пример:

$$k_1 = 11,493 \cdot 17000 = 195381 \text{ см} = 1935,81 \text{ м.}$$

Вычисляют число маршрутов съёмочного участка делением его ширины C на величину k_1 с добавлением единицы, чтобы каждый съёмочный участок перекрывал границы соседних на 50 % ширины аэросъёмочного маршрута:

$$K = \frac{C}{k_1} + 1 = \frac{C_{\text{км}} \cdot 1000}{l_y(100 - Q)m} + 1.$$

Пример:

$$K = \frac{12000}{1953,81} + 1 = 7 \text{ марш.}$$

8. Число аэроснимков всего съёмочного участка вычисляют по формуле

$$N_3 = LK.$$

Пример:

$$N_3 = 24 \cdot 7 = 168.$$

Для покрытия разрывов в съёмке и изготовления репродукций количество аэроснимков увеличивают на 25 % .

$$N' = N + 0,25(N).$$

Пример:

$$N' = 168 + 0,25 \cdot 168 = 210.$$

9. Количество (длину) пленки (при формате аэроснимков 18×18 см, исходя из расчета $19 \text{ см} = 0,19 \text{ м}$ на один негатив), вычисляют по формуле

$$X_m = 0,19N'.$$

Пример:

$$X_m = 0,19 \cdot 210 = 39,9 \text{ м.}$$

Потребность в фотобумаге на выполнение контактной печати для плановой привязки, дешифрирования, изготовления фотосхем и фотопланов зависит от объема этих работ. Количество листов фотобумаги для накидных монтажей равно числу негативов.

10. Вычисление выдержки t — продолжительности времени, в течение которого объектив АФА открыт для фотографирования местности.

Эта величина влияет на число аэроснимков в маршруте (чтобы не получилось разрывов) и качество изображения (чтобы смаз фотоизображения δ не был более 0,01 мм). При комбинированной съемке для стереоскопической обработки материалов съемки рельефа смаз (сдвиг) должен быть в пределах 0,02...0,03 мм.

$$t = \frac{\delta H}{W f_k},$$

где δ — смаз; H — высота фотографирования; W — крейсерская скорость самолета; f_k — фокусное расстояние камеры.

Пример:

$$\delta = 0,01 \text{ мм} = 0,00001 \text{ м}; \quad W = 250 \text{ км / ч} = \frac{250000 \text{ м}}{3600 \text{ сек}} = 69,444 \text{ м/с};$$

$$H = 2380 \text{ м}; \quad f_k = 140 \text{ мм} = 0,14 \text{ м}.$$

$$t = \frac{\delta H}{W f_k} = \frac{1}{\delta H / W f_k} = \frac{1}{(69,44 \cdot 0,14) / (0,00001 \cdot 2380)} = \frac{1}{408} \text{ с}.$$

III.2. Оценка качества аэрофотосъемочного залета

К *летносъёмочным* работам предъявляются следующие основные требования:

должна быть обеспечена устойчивость самолета в полете;

вибрация самолета не должна снижать резкость изображения;

зафиксированное в барограмме колебание высоты полета в маршруте и между маршрутами не должно превышать ± 25 м;

маршрут должен быть прямолинейным и не иметь отклонений от заданного направления (для обеспечения расчетного поперечного перекрытия).

Требования, предъявляемые к *аэросъёмочным работам*:

1. Формат снимков — 18×18 см.

2. Достаточная разрешающая способность объектива (зависит от f_k). Число различимых штрихов должно быть:

а) при использовании объектива с $f_k - 55 \dots 100$ мм в центре снимка — 25 штр./на 1 мм, (по краю — 10 штр./на 1 мм, размер диоптрии — 0,4 мм);

б) f_k 200 и более — соответственно 35 штр. (по краю — 20 штр., размер диоптрии — 0,2 мм).

3. Ошибка в выравнивании пленки в плоскость — не более 0,1 мм.
4. Углы наклона снимков — не более 3° .
5. Съёмочные маршруты должны быть параллельны и заканчиваться за границами съёмочного участка на расстоянии не менее половины базиса ($\frac{1}{2} b$), а за границей объекта — не менее чем на один базис.
6. Обеспеченность всех маршрутов съёмок показаниями статоскопа и высотомера.

Информационные показатели аэроснимка приведены на рис. 59.

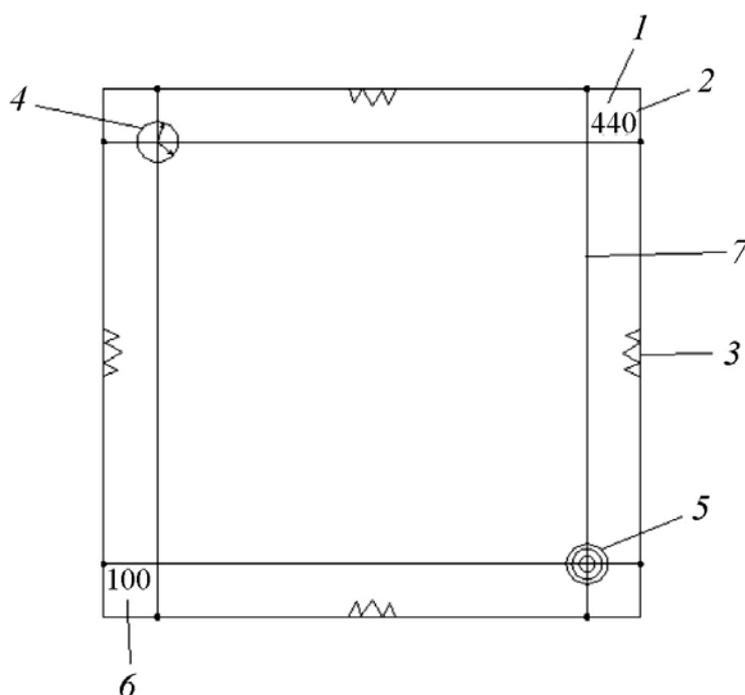


Рис. 59. Информационные показатели аэроснимка: 1 — шифр объекта (4); 2 — номер снимка; 3 — координатные метки; 4 — показания часов (времени съёмки); 5 — показания уровня, по которому берется продольный угол наклона снимка; 6 — абсцисса; 7 — ордината снимка

7. Необходимое фотографическое качество (оценивается на месте выполнения полевых работ): в рабочей части негатива не должно быть напластований, изображений облаков, царапин и других дефектов.

Требования к *контактным отпечаткам с аэронегатива*:

- а) точное соответствие негативу;
- б) достаточная четкость изображения как в центре, так и на краях;
- в) один тон изображения;
- г) один тип фотобумаги.

Критерии оценки фотограмметрического качества:

- а) продольное перекрытие в пределах 56...75 %;
- б) поперечное перекрытие не менее 20 %;
- в) «ё» — угол «Ёлочка», составленный базисом снимка b и осью x снимка, не должен превышать 5° ;
- г) непрямолинейность маршрута (отклонение главных точек аэроснимков O_1, O_2, O_3, \dots) от прямой, соединяющей главные точки первого и последнего снимков, не должна превышать 3 %.

Фактическая полезная площадь, зависящая от величин перекрытия, определяется по формуле

$$S_{\text{ф. сн}} = \frac{S_{\text{ф. уч}}}{N_{\text{ф. уч}}},$$

где $S_{\text{ф. уч}}$ — площадь земельного участка; $N_{\text{ф. уч}}$ — полученное количество аэроснимков.

Оценку аэросъемки выполняют на каждый съемочный участок по фотографическому качеству аэроснимков и их числу с учетом показателей высотомера и статоскопа: «отлично» — при фактическом числе аэроснимков не превышающим 1,07 от расчетного, 75 % аэронегативов отличного качества и удовлетворительной работе радиовысотомера и статоскопа; «хорошо» — при фактическом числе аэроснимков не более 1,15 от расчетного; «удовлетворительно» — при фактическом числе аэроснимков не более 1,25 от расчетного и их фотографическом качестве в пределах допуска. На каждый съемочный участок составляется журнал специальной формы, в котором фиксируются результаты оценки материалов аэросъемки. Пример такого журнала приведен в табл. 7.

Таблица 7

Журнал оценки результатов аэросъемки

Дата съемки	Номера маршрутов, номера конечных а/снимков в маршруте	Порядковый номер а/снимка	Продольное перекрытие P , %	Колесание высот в маршруте по стагограмме «Ёлочка» в градусах	Непрямолинейность, %	Номера измеренных а/снимков	Поперечное перекрытие Q , %	Фотографическое качество негативов	Искажение изображения на негативах
Участок № 4 № 40...54 1202 ОКВ км 1 : 25000									
256 снимков									
10.09.2011	1,154...171	154...57	56	40					157 — 0,10 мм, на остальных в пределах допуска
		158...64	54	3°	2,0	154...161	18	Отл.	
		167...71	53			162...171	21		

1. Относительное отклонение фактической высоты $H_{\text{ф}}$ от заданной H_3 равно 2,7 %.

2. Отношение $N_{\text{ф}}$ к N $\frac{300}{258} = 1,17$.

3. Угол наклона снимков данного маршрута $\alpha > 2^\circ$ равно 5 %, остальных $< 2^\circ$.

4. Показания радиовысотомера и статоскопа — имеются.

Последовательность выполнения работы:

1. На каждом снимке находят координатные метки, по которым определяют положение главных точек снимков (O_{35} , O_{36} , O_{37}) — проекций центра объектива аэрофотоаппарата, находящихся в центре каждого снимка (на снимке (рис. 60) справа координатной метки нет).

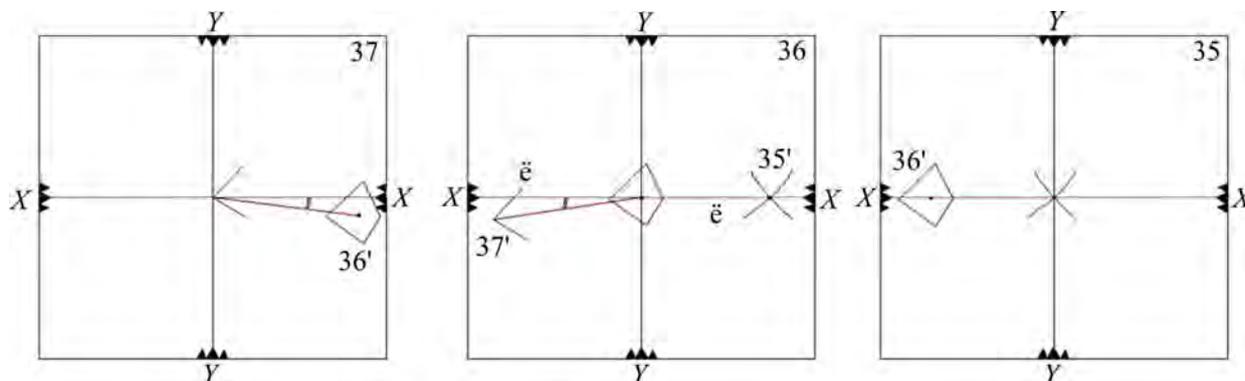


Рис. 60. Расположение главных точек, базиса и угла «Ёлочка» на снимках

2. Измеряют длины сторон снимков.

Пример:

$$\begin{aligned}l_{x37} &= 179 \text{ мм}; & l_{x36} &= 179 \text{ мм}; & l_{x35} &= 177 \text{ мм}; \\l_{y37} &= 182 \text{ мм}; & l_{y36} &= 181 \text{ мм}; & l_{y35} &= 179 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Снимки (см. рис. 60) имеют следующие тона изображений: № 35 — темный, № 36 и № 37 — нормальный. Изображение объектов местности четкое, достаточно резкое за исключением 35 снимка, который на ЮВ затемнен.

Примечание: на учебных снимках нет показаний часов, круглого уровня и радиовысотомера.

Качество фотографических снимков:

35 — удовлетворительное

36 и 37 — хорошее.

3. Оценивают фотограмметрическое качество снимков:

1) по контурам опознают главные точки соседних снимков и измеряют расстояния между ними (базисы фотографирования):

$$\begin{aligned}b_{x(35-36)} &= 70 \text{ мм}; & b_{x(36-35)} &= 72 \text{ мм}; \\b_{x(36-37)} &= 64 \text{ мм}; & b_{x(37-36)} &= 62 \text{ мм};\end{aligned}$$

2) измеряют угол «Ёлочка» (ϵ), составленный базисом и осью абсцисс (xx):

$$\begin{aligned}\epsilon_{36-37} &= 2,5^\circ; \\ \epsilon_{36-35} &= 2,0^\circ;\end{aligned}$$

3) определяют разномасштабность снимков, выбрав по середине базиса два контура, и измеряют соответствующие расстояния на двух соседних снимках:

$$\begin{aligned}d_{1-2} &= 124 \text{ мм (на снимке 35);} \\ d_{1-2} &= 124 \text{ мм (на снимке 36);}\end{aligned}$$

$$\Delta d = 0 \text{ мм};$$

$$\frac{\Delta d}{d_{\text{cp}}} = \frac{1}{d_{\text{cp}} / \Delta d} = \frac{1}{\infty} = 0.$$

Разномасштабность равна 0;

4) определяют величину продольного перекрытия (части местности, сфотографированной дважды и изображенной на двух соседних снимках (рис. 61)), в %, совместив визуально одноименные точки соседних снимков маршрута.

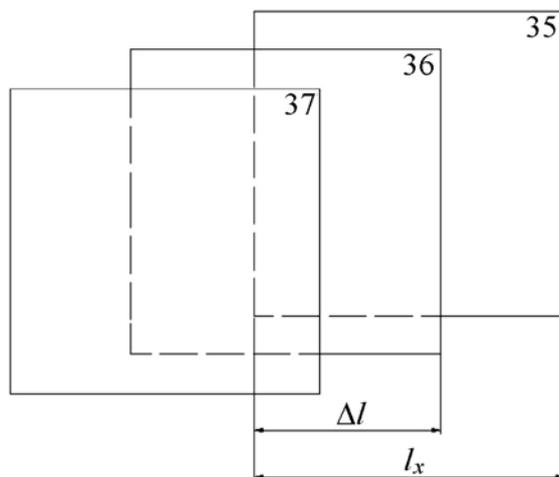


Рис. 61. Перекрытия аэроснимков

Пример:

Измерили величины перекрытия:

$$\Delta l_{35-36} = 110 \text{ мм};$$

$$\Delta l_{36-37} = 116 \text{ мм}.$$

Вычислили:

$$P_{35-36} = \frac{\Delta l \cdot 100 \%}{l_{x35}} = \frac{110 \cdot 100 \%}{177} = 62,1 \%;$$

$$P_{36-37} = \frac{\Delta l \cdot 100 \%}{l_{x36}} = \frac{116 \cdot 100 \%}{179} = 64,3 \%;$$

5) определяют непрямолинейность маршрута γ по трем снимкам (рис. 62):

- а) снимки монтируют в общий маршрут;
- б) измеряют расстояние между крайними координатными метками начального и последнего снимков (L_x);
- в) измеряют $(\Delta L_x)_{\text{max}}$ — величину max отклонения координатной метки от прямой L_x ;
- г) вычисляют непрямолинейность маршрута:

$$\gamma = \frac{\Delta L_{x\text{max}} \cdot 100 \%}{L_x}.$$

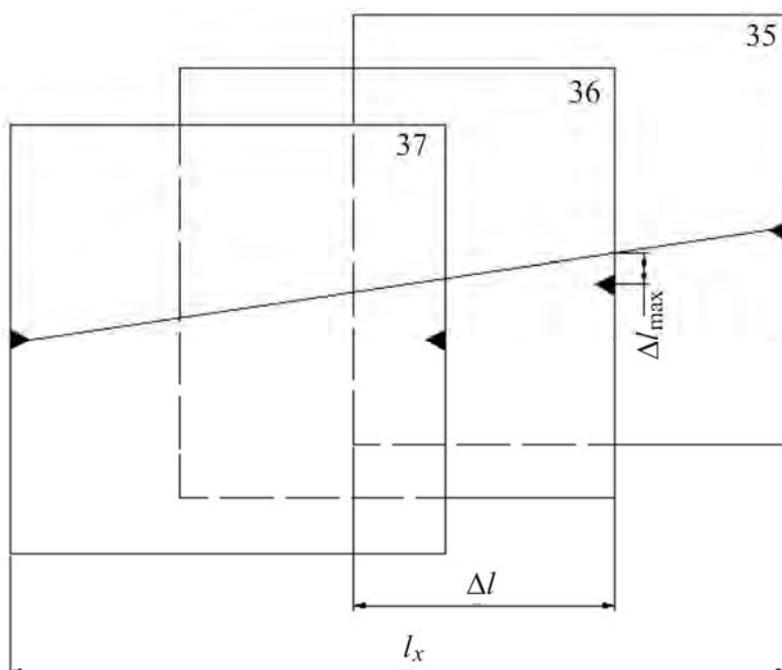


Рис. 62. Непрямолинейность маршрута

Пример:

$$\gamma = \frac{3 \text{ мм} \cdot 100 \%}{300 \text{ мм}} = 1 \% .$$

Оценка фотограмметрического качества — «отлично», так как:

1. Продольное перекрытие больше 56 % и меньше 75 %.
2. Угол «Ёлочка» меньше 5°.
3. Непрямолинейность маршрута меньше 5 %.

Снимки 35, 36, 37 и т. д. маршрута пригодны к дальнейшей фотограмметрической работе.

III.3. Определение величин искажений на аэроснимках, вызванных превышением точек местности

Выписывают исходные данные.

Пример:

1. Аэроснимок № 440.
2. Фокусное расстояние $f_k = 200$ мм.
3. Высота фотографирования $H_{abc} = 4000$ м.
4. Выбраны 3 точки, не лежащие на одной прямой.
5. Превышения выбранных точек относительно горизонтальной плоскости:

$$h_{1-0} = +77,9 \text{ м};$$

$$h_{2-0} = -64,4 \text{ м};$$

$$h_{3-0} = +90,7 \text{ м}.$$

Последовательность выполнения работы:

1. Вычерчивают схему расположения точек на аэрофотоснимке (рис. 63).

Пример:

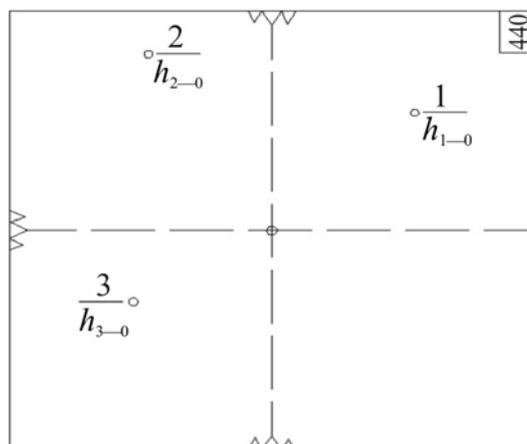


Рис. 63. Схема расположения точек на аэрофотоснимке

2. Для всех точек измеряют радиус-векторы (расстояния от главной точки аэроснимка до них).

Пример:

$$r_{1-0} = 40 \text{ мм};$$

$$r_{2-0} = 73 \text{ мм};$$

$$r_{3-0} = 50 \text{ мм}.$$

3. По фокусному расстоянию и высоте фотографирования вычисляют масштаб снимка в местах расположения его главных и выбранных точек по формулам

$$\frac{1}{m_0} = \frac{f_k}{H_{abc}} = \frac{1}{H_{abc} / f_k};$$

$$\frac{1}{m_i} = \frac{f_k}{H_{abc} - h_{i-0}}.$$

Пример:

$$\frac{1}{m_0} = \frac{1}{4000000 : 200} = \frac{1}{20000};$$

$$\frac{1}{m_1} = \frac{200 \text{ м}}{4000 \text{ м} - 77,9 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{3922,1 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{3922100 \text{ мм}} = \frac{1}{3922100 : 200} = \frac{1}{19610};$$

$$\frac{1}{m_2} = \frac{200 \text{ м}}{4000 \text{ м} + 66,4 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{4064,4 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{4064400 \text{ мм}} = \frac{1}{40644000 : 200} = \frac{1}{20322};$$

$$\frac{1}{m_3} = \frac{200 \text{ м}}{4000 \text{ м} - 90,7 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{3909,3 \text{ м}} = \frac{200 \text{ мм}}{3909300 \text{ мм}} = \frac{1}{3909300 : 200} = \frac{1}{19546}.$$

Вычисляют средний масштаб:

$$\left(\frac{1}{m}\right)_{\text{cp}} = \frac{1}{(m_1 + m_2 + m_3) / 3}.$$

Пример:

$$\left(\frac{1}{m}\right)_{\text{cp}} = \frac{1}{(19610 + 20322 + 19546) : 3} = \frac{1}{19326}.$$

4. Вычисляют искажения на аэроснимках в выбранных точках, вызванных рельефом местности δ_h , мм:

$$\delta_{h_{i-0}} = \frac{r_{1-0} h_{i-0}}{H_i},$$

где $H_i = H_{abc} - h_{i-0}$.

Пример:

$$\delta_{h_{1-0}} = \frac{40 \cdot 77,9}{4000 - 77,9} = +0,8 \text{ мм};$$

$$\delta_{h_{2-0}} = \frac{73 \cdot (-64,4)}{4000 + 64,4} = -1,2 \text{ мм};$$

$$\delta_{h_{3-0}} = \frac{50 \cdot 90,7}{4000 - 90,7} = +1,2 \text{ мм}.$$

5. Переносят при помощи файла точки со снимка на лист бумаги формата А4.

6. Исправляют положения выбранных точек. Для этого по радиус-вектору откладывают величины поправок δ_{h-0} в миллиметрах (при положительном знаке поправки откладывают в сторону главной точки; при отрицательном — в противоположную).

7. Выбранные точки соединяют сплошными линиями, а исправленные их положения — пунктирными. Получают треугольники 1, 2, 3 и $1_0, 2_0, 3_0$. Вычисляют абсолютные искажения длин линий в этих треугольниках, измерив на формате А4 длины сторон треугольников.

Пример:

$$\begin{array}{ccc} d_{1-2} = 76 \text{ мм} & d_{2-3} = 97 \text{ мм} & d_{3-1} = 90 \text{ мм} \\ \frac{d_{1^\circ-2^\circ} = 77 \text{ мм}}{\Delta d_{1-2} = 1 \text{ мм}} & \frac{d_{2^\circ-3^\circ} = 97 \text{ мм}}{\Delta d_{2-3} = 0 \text{ мм}} & \frac{d_{3^\circ-1^\circ} = 87 \text{ мм}}{\Delta d_{3-1} = 3 \text{ мм}} \end{array}$$

$$d_{\text{cp } 1-2} = \frac{d_{1-2} + d_{10-20}}{2} = 76,5 \text{ мм}; \quad d_{\text{cp } 2-3} = 97 \text{ мм}; \quad d_{\text{cp } 3-1} = 88,5 \text{ мм}.$$

Вычисляют относительные искажения длин:

$$f = \frac{\Delta d}{d_{\text{cp}}} = \frac{1}{d_{\text{cp}} / \Delta d}.$$

Пример:

$$f_{1-2} = \frac{1}{76,5:1} = \frac{1}{76,5} \quad f_{2-3} = \frac{1}{97:0} = 0 \quad f_{3-1} = \frac{1}{88,51:3} = \frac{1}{29,5}.$$

8. Вычисляют абсолютные искажения углов в каждом треугольнике.

Пример:

$$\begin{array}{ccc} \beta_1 = 71^\circ & \beta_2 = 61^\circ & \beta_3 = 48^\circ \\ \beta_{\circ 1} = 72^\circ; & \beta_{\circ 2} = 59^\circ; & \beta_{\circ 3} = 49^\circ. \\ \Delta\beta_1 = 1^\circ & \Delta\beta_2 = 2^\circ & \Delta\beta_3 = 1^\circ \end{array}$$

Контроль

$$\begin{array}{l} \sum \beta = 180^\circ; \\ \sum \beta_{\circ} = 180^\circ. \end{array}$$

9. На формате бумаги А4 составляют чертеж, на котором показывают координатные оси XX , YY , главный вертикал VV , главную горизонталь h_0h_0 (рис. 64). Находят положение точки нулевых искажений c и точки надира n на главном вертикале VV . Проводят линию неискаженных масштабов — горизонталь, проходящую через точку надира h_nh_n , приняв угол наклона $\alpha = 2^\circ 45'$.

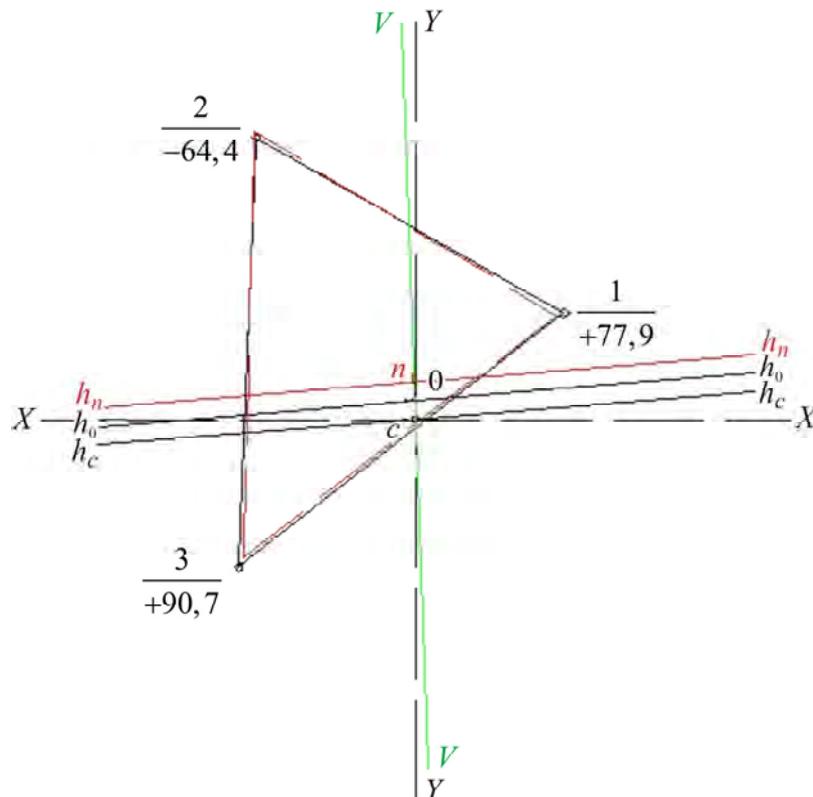


Рис. 64. Пример полученного чертежа: 0 — главная точка снимка; c — точка нулевых искажений; n — точка надира; h_0h_0 — главная горизонталь на снимке, линия пересечения главного вертикала с горизонталью; h_ch_c — линия неискаженных масштабов; h_nh_n — горизонталь, проходящая через точку надира; VV — главный вертикал; XX — координатная ось абсцисс; YY — координатная ось ординат

Рабочие формулы для определения расстояний до точек нулевых искажений:

$$on = f_k \operatorname{tg} \alpha.$$

Пример:

$$on = 200 \operatorname{tg} 2^\circ 45' = 9,6 \text{ мм.}$$

$$jc = f_k \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Пример:

$$jc = 200 \operatorname{tg} \frac{2^\circ 45'}{2} = 4,8 \text{ мм.}$$

III.4. Изучение устройства линзово-зеркального стереоскопа

Основные части и ход лучей линзово-зеркального стереоскопа (ЛЗС) приведены на рис. 65.

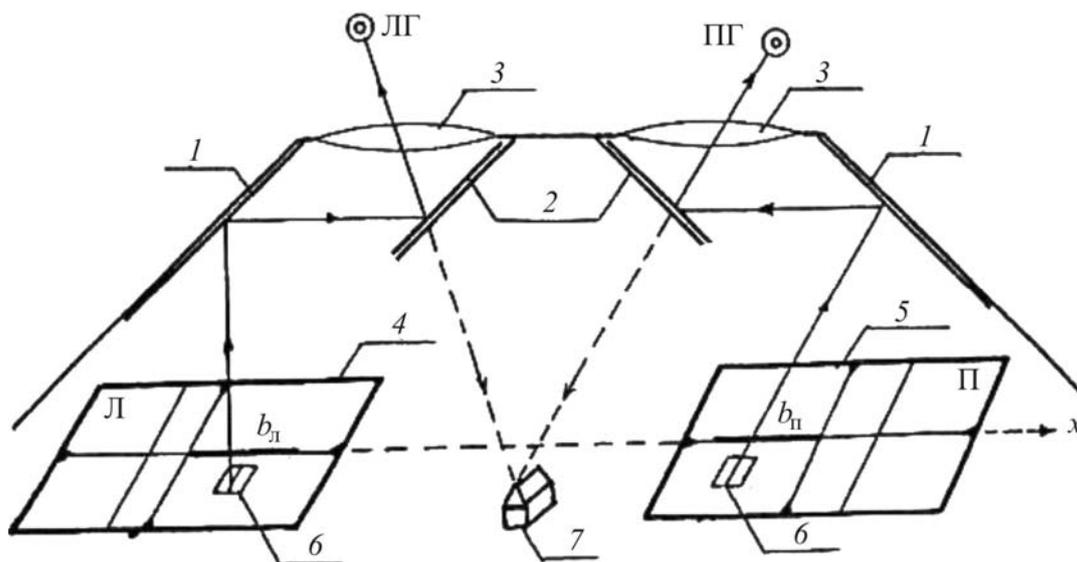


Рис. 65. Схема хода лучей в стереоскопе (ЛЗС): 1 — большие зеркала; 2 — малые зеркала; 3 — увеличительные линзы (левая и правая); 4, 5 — левый и правый снимки стереопары, на которых изображен объект 6; 7 — стереомодель объекта; ЛГ и ПГ — левый и правый глаза наблюдателя

Большие и малые зеркала 1 и 2 установлены под углом 45° друг к другу.

Создание стереоскопической модели местности начинают с вычисления увеличения стереоскопа V^x :

$$V^x = \frac{l_{\text{норм. зр. чел}}}{l_{\text{ст. стер}}},$$

где $l_{\text{норм. зр. чел}}$ — оптимальное расстояние нормального зрения человека; $l_{\text{ст. стер}}$ — высота стойки стереоскопа относительно стола, на котором он установлен.

Пример:

$l_{\text{норм. зр. чел}} = 250 \text{ мм}$; $l_{\text{ст. стер}} = 102 \text{ мм}$. Следовательно

$$V^x = \frac{250 \text{ мм}}{102 \text{ мм}} = 2,45^x.$$

При помощи стереоскопа можно получать прямой, обратный и нулевой стереоэффекты.

Прямой стереоэффект получают при одновременном рассматривании правого снимка правым глазом, а левого — левым, в положении базиса фотографирования параллельно главному базису наблюдателя. При этом рельеф, видимый на снимках, соответствует местности.

Обратный стереоэффект получают, если каждый из снимков развернуть по ходу часовой стрелки на 180° . При этом положение перекрытия окажется снаружи и для получения стереомодели снимки сдвигают друг к другу. Рельеф местности при обратном стереоэффекте противоположен рельефу, полученному при прямом стереоэффекте (вершины воспринимаются углублениями и наоборот).

Нулевой стереоэффект получают при повороте снимков по часовой стрелке на 90° от их положения для создания прямого стереоэффекта. В результате наблюдатель вместо пространственной модели видит плоское изображение (рис. 66).

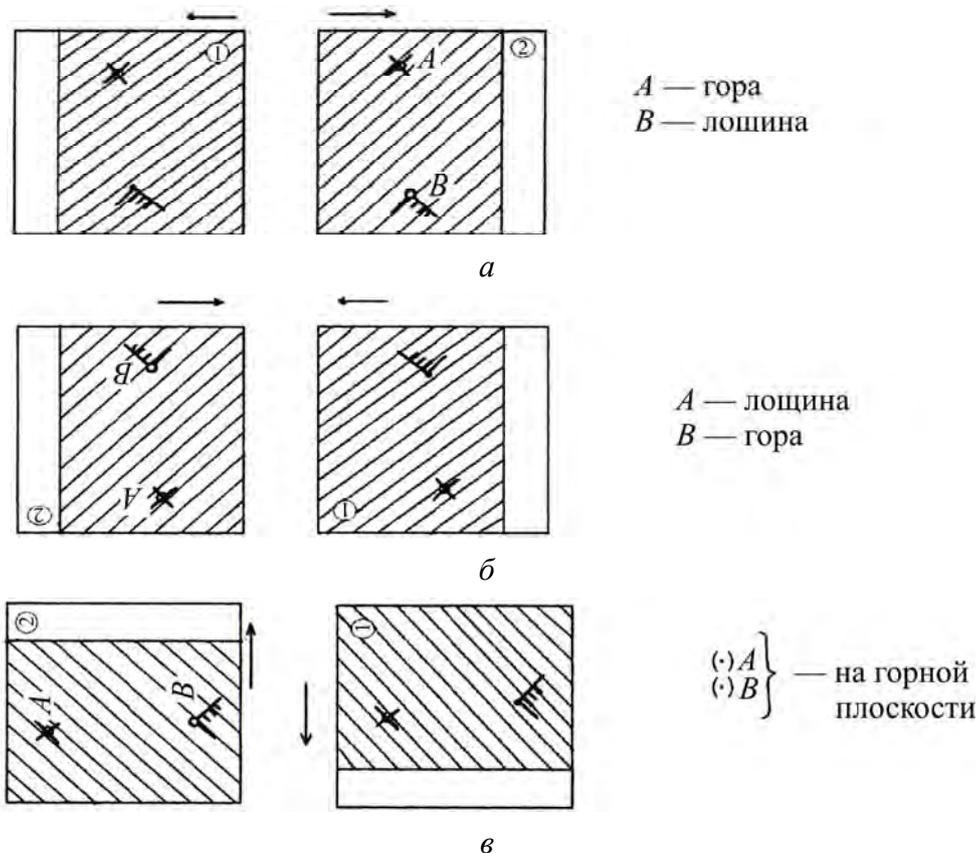


Рис. 66. Виды стереоэффекта в зависимости от расположения снимков под стереоскопом: а — прямой; б — обратный на 180° от прямого; в — нулевой на 90° от прямого

III.5. Вариантное трассирование автодороги по аэрофотоснимкам

Учебное задание выполняют 2 студента. На стереопаре, состоящей из 2 снимков проектируют 2 варианта автомобильной дороги (на левом снимке — 1-й, на правом снимке — 2-й вариант). Используя стереоскопическую модель, намечают основные точки трассы: начала трассы (НТ), вершины угла поворота (ВУ), конца трассы (КТ). На левом и правом снимках точки НТ и КТ одни и те же точки местности, ВУ — разные.

Вычисляют основные геометрические параметры трассы, составляют ведомость прямых и кривых, сравнивают варианты и выбирают оптимальный.

Последовательность выполнения работы:

1. Записывают исходные данные:

- а) стереопара Б-20-19 (левый) и Б-20-20 (правый) снимки;
- б) фокусное расстояние съёмочной пары $f_k = 211$ мм;
- в) абсолютная высота фотографирования $H_{abc} = 4516$ м;
- г) взаимный продольный угол наклона $\Delta\alpha_x = -0^\circ 26'$;
- д) базисы фотографирования, измеренные на левом и правом снимках:

$$b_{л} = 66,3 \text{ мм};$$

$$b_{пр} = 67,5 \text{ мм};$$

$$b_{ср} = \frac{b_{л} + b_{пр}}{2} = \frac{66,3 + 67,5}{2} = 66,9 \text{ мм}.$$

2. Вычерчивают схему выбранного варианта трассы с указанием основных геометрических параметров трассы (рис. 67).

Пример:

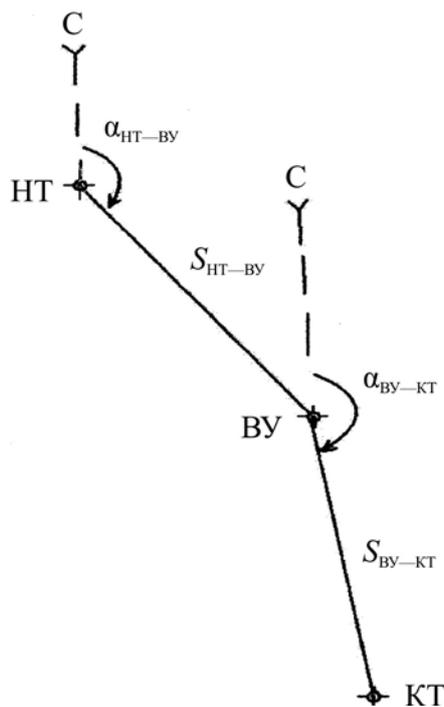


Рис. 67. Схема трассы АД

3. Определяют масштаб снимка:

$$\frac{1}{m} = \frac{f_k}{H_{abc}} = \frac{1}{H_{abc} / f_k}.$$

Пример:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{4516 / 0,211} = \frac{1}{21403}.$$

4. Измеряют на снимке и вычисляют на местности:

а) расстояние от начала трассы (НТ) до вершины угла поворота (ВУ) — $S_{НТ-ВУ}$;

б) расстояние от вершины угла поворота до конца трассы — $S_{ВУ-КТ}$:

$$S_{НТ-ВУ} = 60 \text{ мм} \cdot 21403 = 128418 \text{ мм} = 1284,18 \text{ м};$$

$$S_{ВУ-КТ} = 40 \text{ мм} \cdot 21403 = 85612 \text{ мм} = 856,12 \text{ м}.$$

5. Измеряют геодезическим транспортиром дирекционные углы и вычисляют румбы направлений трассы:

$$\alpha_{НТ-ВУ} = 159^\circ 00'; \quad r_{НТ-ВУ} = \text{ЮВ} : 21^\circ 00';$$

$$\alpha_{ВУ-КТ} = 174^\circ 00'; \quad r_{ВУ-КТ} = \text{ЮВ} : 6^\circ 00'.$$

6. Вычисляют угол поворота трассы Q :

$$\text{левый: } Q_{л} = \alpha_{НТ-ВУ} - \alpha_{ВУ-КТ};$$

$$\text{правый: } Q_{пр} = \alpha_{ВУ-КТ} - \alpha_{НТ}.$$

Пример:

$$Q_{пр} = 174^\circ 00' - 159^\circ 00' = 15^\circ 00'.$$

7. Используя значение угла поворота и расстояния $S_{НТ-ВУ}$ и $S_{ВУ-КТ}$, вычисляют радиус R круговой кривой, исходя из того, что величина тангенса (T) не может превышать значения этих расстояний:

$$T = S_{\min} m.$$

Пример:

$$T = 40 \text{ мм} \cdot 21403 = 856120 \text{ мм} = 856,12 \text{ м}.$$

$$\text{Так как } T = R \operatorname{tg} \frac{Q}{2}, \text{ то } R = \frac{T}{\operatorname{tg} \frac{Q}{2}}.$$

$$R = \frac{856,12 \text{ м}}{\operatorname{tg} \frac{Q}{2}} = \frac{856,12 \text{ м}}{\operatorname{tg} \frac{15^\circ}{2}} = 6502,87 \text{ м} \approx 6000 \text{ м}.$$

8. По округленной величине радиуса вычисляют основные элементы круговой кривой: Т, длину кривой К, диаметр Д и биссектрису Б по формулам

$$T = R \operatorname{tg} \frac{Q}{2}; \quad K = \frac{\pi R}{180^\circ} Q; \quad D = 2T - K; \quad B = \frac{R}{\cos \frac{Q}{2}} - R.$$

Пример:

$$T = 6000 \operatorname{tg} \frac{15^\circ}{2} = 789,91 \text{ м}; \quad K = \frac{3,14 \cdot 6000}{180^\circ} 15^\circ = 1570,80 \text{ м};$$

$$D = 2 \cdot 789,91 - 1570,80 = 9,02 \text{ м}; \quad B = \frac{6000}{\cos \frac{15^\circ}{2}} - 6000 = 51,77 \text{ м}.$$

9. Вычисляют пикетажные значения основных точек трассы:

$$\begin{aligned} \text{ПК НК} &= \text{ПК 0}; \\ \text{ПК ВУ} &= \text{ПК НТ} + S_{\text{НТ—ВУ}}; \\ \text{ПК КТ} &= \text{ПК ВУ} + S_{\text{ВУ—КТ}} - D. \end{aligned}$$

Пример:

$$\begin{aligned} \text{ПК НК} &= 0; \\ \text{ПК ВУ} &= 0 + 1284,18 = \text{ПК 12} + 84,18; \\ \text{ПК КТ} &= \text{ПК 12} + 84,18 + 856,12 - 9,02 = 2131,28 = \text{ПК 21} + 31,28. \end{aligned}$$

10. Вычисляют пикетажные значения главных точек круговой кривой:

$$\begin{aligned} \text{начала кривой: ПК НК} &= \text{ПК ВУ} - T; \\ \text{конца кривой: ПК КК} &= \text{ПК НК} + K; \\ \text{середины кривой: ПК СК} &= \text{ПК НК} + K/2. \end{aligned}$$

Контроль:

$$\begin{aligned} \text{ПК КК} &= \text{ПК ВУ} + T - D; \\ \text{ПК СК} &= \text{ПК КК} - K/2. \end{aligned}$$

Пример вычисления и записи главных точек круговой кривой:

$$\begin{array}{r} \text{ПК ВУ} = \text{ПК 12} + 84,18 \\ - \text{ПК Т} = \text{ПК 7} + 89,91 \\ \hline \text{ПК НК} = \text{ПК 4} + 94,27 \end{array}; \quad \begin{array}{r} \text{ПК ВУ} = \text{ПК 12} + 84,18 \\ + \text{ПК Т} = \text{ПК 7} + 89,91 \\ \hline \Sigma = \text{ПК 20} + 74,09 \end{array};$$

$$\begin{array}{r} + \text{ПК К} = \text{ПК 15} + 70,80 \\ \text{ПК КК} = \text{ПК 20} + 65,07 \end{array}; \quad \begin{array}{r} - \text{ПК Д} = \text{ПК 0} + 9,02 \\ \text{ПК КК} = \text{ПК 20} + 65,07 \end{array}$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК 4} + 94,27 + \frac{1}{2} \text{ПК 15} + 70,80 = \text{ПК 12} + 79,67.$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК 20} + 65,07 - \frac{1}{2} \text{ПК 15} + 70,80 = \text{ПК 12} + 79,67.$$

11. Вычисляют протяженность прямых участков трассы:

$$P_1 = \text{ПКНК} - \text{ПК НТ}$$

$$P_2 = \text{ПК КТ} - \text{ПК КК}$$

$$\underline{\Sigma P = P_1 + P_2}$$

Пример:

$$P_1 = \text{ПК } 4 + 94,27 - 0 = \text{ПК } 4 + 94,27;$$

$$P_2 = \text{ПК } 21 + 31,28 - \text{ПК } 20 + 65,07 = \text{ПК } 0 + 66,21$$

$$\underline{\Sigma P = 494,27 + 66,21 = 560,48 \text{ м}}$$

12. Вычисляют общую длину трассы:

$$L_{\text{тр}} = \Sigma P + \Sigma K$$

и выполняют контроль:

$$L_{\text{тр}} = \Sigma S - \Sigma D.$$

Пример:

$$L_{\text{тр}} = 560,48 + 1570,80 = 2131,28 \text{ м.}$$

Контроль:

$$L_{\text{тр}} = 1284,18 + 856,12 - 9,02 = 2131,28 \text{ м.}$$

13. Составляют ведомость прямых и кривых (табл. 9).

14. Составляют таблицу сравнения вариантов трассы и выбирают оптимальный. Пример такой таблицы приведен в табл. 8.

Таблица 8

Параметры сравнения вариантов трассы

Номер параметра	Сравниваемые величины	Ед. изм.	Варианты	
			I	II
1	Длина трассы $L_{\text{тр}}$	км	2142,9	2131,28
2	Количество углов поворота	шт.	1	1
3	Максимальный радиус закругления	м	9300	6000
4	Количество сносимых сооружений	шт.	5	0
5	Количество необходимых дорожных сооружений: трубы мосты	шт.	2	3
			2	0
6	Протяженность участков трассы в сложных условиях	км	1	0,33

Результат сравнения: за оптимальный вариант следует принять вариант II.

Таблица 9

Ведомость прямых и кривых

Исходные точки трассы	Углы			Кривые						Параметры прямых вставок				Примечание	
	Величина			Элементы кривой				Пикетажные значения							
	Положение вершины, ПК	$Q_{пр}$	$Q_{л}$	Радиус R , м	Тангенс T , м	Кривая K , м	Биссектриса B , м	Домер D , м	НК	КК	Длина P , м	Расстояние от НТ и КТ до вершин углов поворота S , м	Дирекционный угол α		Румб r
НТ	ПКО														
											494,27	1284,18	159°00'	ЮВ : 21°00'	
ВУ1	ПК12 + 84,18	15°00'	—	6000	789,91	1570,80	51,77	9,02	ПК4 + 94,27	ПК20 + 65,07					
											66,21	856,12	174°00'	ЮВ : 6°00'	
КТ															
					$\Sigma T = 789,91$	$\Sigma K = 1570,8$		$\Sigma D = 9,02$			$\Sigma P = 560,48$	$\Sigma S = 2140,3$			

Контроль:

$$1. \alpha_n^{\text{кон}} - \alpha_0^{\text{нач}} = \Sigma Q_{пр} - \Sigma Q_{л}: \quad 174^\circ 00' - 159^\circ 00' = 15^\circ 00' - 0;$$

$$15^\circ 00' = 15^\circ 00'.$$

$$2. \Sigma P + \Sigma K = \Sigma S - \Sigma D: \quad 560,48 + 1570,80 = (1284,18 + 856,12) - 9,02;$$

$$2131,28 \text{ м} = 2131,28 \text{ м}.$$

$$3. 2\Sigma T - \Sigma D = \Sigma K: \quad 2 \cdot 789,91 - 9,02 = 1570,80;$$

$$1570,80 \text{ м} = 1570,80 \text{ м}.$$

III.6. Разбивка пикетажа по трассе. Детальная разбивка круговой кривой методом прямоугольных координат

Последовательность выполнения работы:

1. На правом снимке подписывают пикетажные значения основных точек трассы.

2. От вершины угла поворота по направлениям ВУ—НТ и ВУ—КТ откладывают расстояния в мм, соответствующие в выбранном масштабе величине тангенса T круговой кривой. Получают точки начала и конца кривой (НК, КК).

3. Вычисляют угол β между направлениями ВУ—НТ и ВУ—КТ по формуле

$$\beta = 180^{\circ}00' - Q^{\circ}_{\text{пр.}}$$

Пример:

$$\beta = 180^{\circ}00' - 15^{\circ}00' = 165^{\circ}00'.$$

4. Геодезическим транспортиром откладывают от линии ВУ—КТ значение величины угла

$$\frac{\beta}{2} = 165^{\circ}00' / 2 = 82^{\circ}30'.$$

По полученному направлению откладывают расстояние, соответствующее в масштабе снимка длине биссектрисы B и фиксируют положение точки середины кривой СК.

5. Выполняют контроль положения точек путем сравнения расстояний НК—НТ и КК—КТ, измеренных на снимке с вычисленными значениями прямых вставок P_1 и P_2 .

Пример:

На чертеже $d_{\text{НК—НТ}} = 23,1$ мм; на местности $23,1 \text{ мм} \cdot 21397 = 494271 \text{ мм} \approx 494,27 \text{ м}$.

На чертеже $d_{\text{КК—КТ}} = 3,1$ мм; на местности $3,1 \text{ мм} \cdot 21397 = 66331 \text{ мм} \approx 66,33 \text{ м}$.

Измеренные данные близки к вычисленным, следовательно, точки НК и КК нанесены правильно.

6. Выписывают пикетажные значения точек (НК, СК, КК). Между точками НК, НТ и КК, КТ откладывают соответствующие расстояния до ближайших пикетов.

Пример:

Расстояние от точки НК до ПК4 равно $\frac{94,27 \text{ м}}{21403} = 0,0044 \text{ м} = 4,4 \text{ мм}$, расстояние от КК до ПК21 равно $\frac{34,93 \text{ м}}{21403} = 0,0016 \text{ м} = 1,6 \text{ мм}$, отложив, получаем ПК4 и ПК21.

Контроль: От ПК4 в сторону НТ откладываем отрезки, соответствующие 100 м в масштабе снимка (4,7 мм), получаем ПК3, ПК2, ПК1, ПК0 — точку начала трассы (ПК0 = НТ).

Аналогично, откладывая от ПК21 отрезки по 4,7 мм, получаем последующие пикеты.

На круговой кривой для каждого пикета определяют прямоугольные координаты:

$$X_i = R \sin \varphi_i; \quad Y_i = R - R \cos \varphi_i,$$

где
$$\varphi_i = \frac{k_i}{K} Q,$$

где $k_i = \text{ПК}_i - \text{ПКНК}$ (для точек между НК и СК) или $k_i = \text{ПККК} - \text{ПК}_i$ (для точек между КК и СК).

Пример:

Пикетажное значение точки начала кривой ПК НК = ПК4 + 94,27, расстояние k_1 до пикета 5 равно $100 - 94,27 = 5,73$ м.

$$\varphi_1 = \frac{5,73 \text{ м}}{1570,80 \text{ м}} 15^\circ 00' = 0^\circ 03' 17'' \text{ при } R = 6000 \text{ м};$$

$$X_1 = 6000 \text{ м} \cdot \sin 0^\circ 03' 17'' \approx 5,73 \text{ м};$$

$$Y_1 = 6000 \text{ м} - 6000 \text{ м} \cdot \cos 0^\circ 03' 17'' = 0,003 \text{ м};$$

расстояние от начала кривой до пикета 6 равно 105,73;

$$\varphi_2 = \frac{105,73 \text{ м}}{1570,80 \text{ м}} 15^\circ 00' = 1^\circ 00' 36'';$$

$$X_2 = 6000 \text{ м} \cdot \sin 1^\circ 00' 36'' = 105,76 \text{ м};$$

$$Y_2 = 6000 \text{ м} - 6000 \text{ м} \cdot \cos 1^\circ 00' 36'' = 0,93 \text{ м}.$$

Результаты заносят в таблицу (табл. 10). Используя данные табл., на правом снимке вычерчивают круговую кривую. Для левого снимка круговую кривую вычерчивают на формате А4 (рис. 68).

Таблица 10

Детальная разбивка круговой кривой методом прямоугольных координат

Номер точек	Пикетажные значения точек круговой кривой	k	φ	Значения прямоугольных координат характерных точек для построения кривой			
				на местности		на чертеже	
				$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$	$X, \text{ мм}$	$Y, \text{ мм}$
НК	ПК4 + 94,27	0	0°00'00"	0	0	0	0
1	ПК5	5,73	0°03'17"	5,73	0,003	0,3	0,0001
2	ПК6	105,73	1°00'36"	105,76	0,93	4,9	0,04
3	ПК7	205,73	1°57'50"	205,63	3,52	9,6	0,2
4	ПК8	305,73	2°5'08"	305,54	7,78	14,3	0,4
5	ПК9	405,73	3°52'26"	405,38	13,71	18,9	0,6
6	ПК10	505,73	4°49'44"	505,093	21,30	23,6	1,0
7	ПК11	605,73	5°47'02"	604,671	30,55	28,3	1,4
8	ПК12	704,73	6°44'20"	704,080	41,45	32,9	1,9

Номер точек	Пикетажные значения точек круговой кривой	k	φ	Значения прямоугольных координат характерных точек для построения кривой			
				на местности		на чертеже	
				X, м	Y, м	X, мм	Y, мм
СК	ПК12 + 79,67	785,4	7°30'00"	783,16	51,33	36,6	2,4
9	ПК13	765,07	7°18'22"	763,01	48,71	35,6	2,3
10	ПК14	665,07	6°21'04"	663,71	36,82	31,0	1,7
11	ПК15	565,07	5°23'46"	564,23	26,59	26,4	1,2
12	ПК16	465,07	4°26'28"	464,59	18,01	21,7	0,8
13	ПК17	365,07	3°29'10"	364,828	11,10	17,0	0,5
14	ПК18	265,07	2°31'52"	264,96	5,85	12,4	0,3
15	ПК19	165,07	1°34'34"	165,02	2,27	7,7	0,1
16	ПК20	65,07	0°37'16"	65,03	0,35	3,0	0,02
КК	ПК20 + 65,07	0	0°00'00"	0	0	0	0

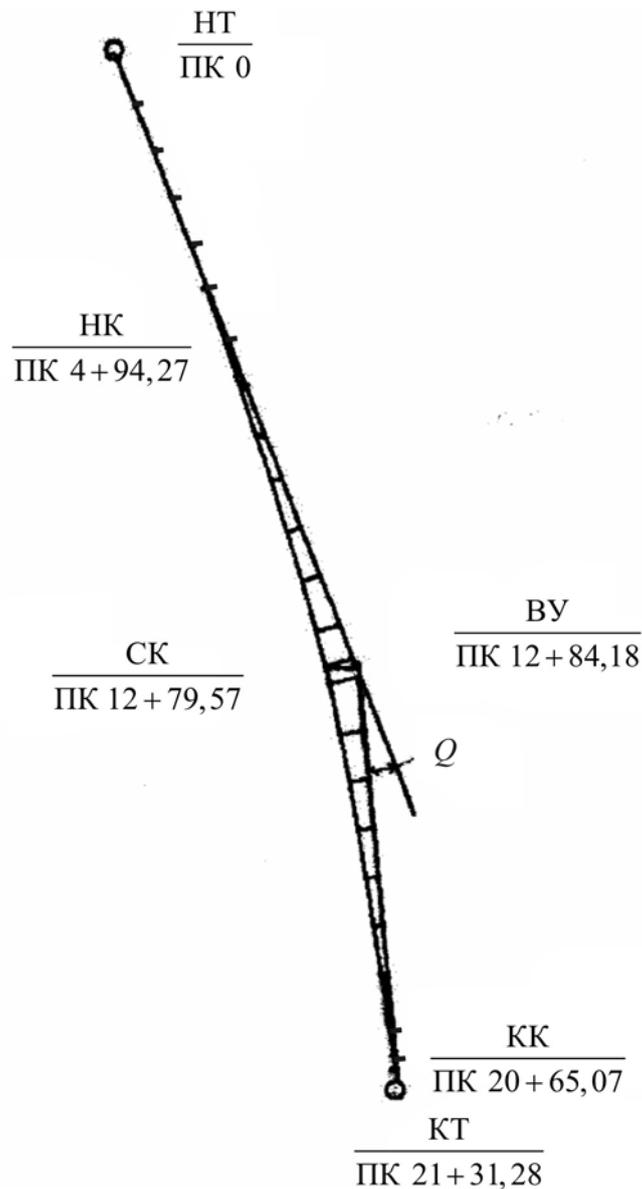


Рис. 68. Детальная разбивка кривой методом прямоугольных координат

III.7. Привязка трассы автодороги к опознакам. Составление разбивочного чертежа

Начало и конец трассы привязывают на снимке к высотным опорным точкам (опознакам), рассчитывают данные для выноса проекта трассы автодороги со снимка на местность и составляют разбивочный чертеж.

Пример:

Исходные данные:

1. Стереопара Б-20-19; Б-20-20.
2. Снимок Б-20-20 (правый).
3. Фокусное расстояние $f_k = 211$ мм.
4. Абсолютная высота фотографирования $H_{abc} = 4516$ м.
5. Масштаб аэроснимка $\frac{1}{M} = \frac{1}{21403}$.
6. Отметки опознаков:

$$A_4 = 497,0 \text{ м;}$$

$$A_5 = 527,8 \text{ м;}$$

$$A_6 = 508,4 \text{ м;}$$

$$A_7 = 620,4 \text{ м.}$$

7. Склонение магнитной стрелки $\delta_3 = 6^\circ 07'$.

8. Сближение меридианов $\gamma_B = 0^\circ 51'$.

Последовательность выполнения работы:

1. Вычерчивают схему расположения опознаков на аэрофотоснимках (рис. 69).

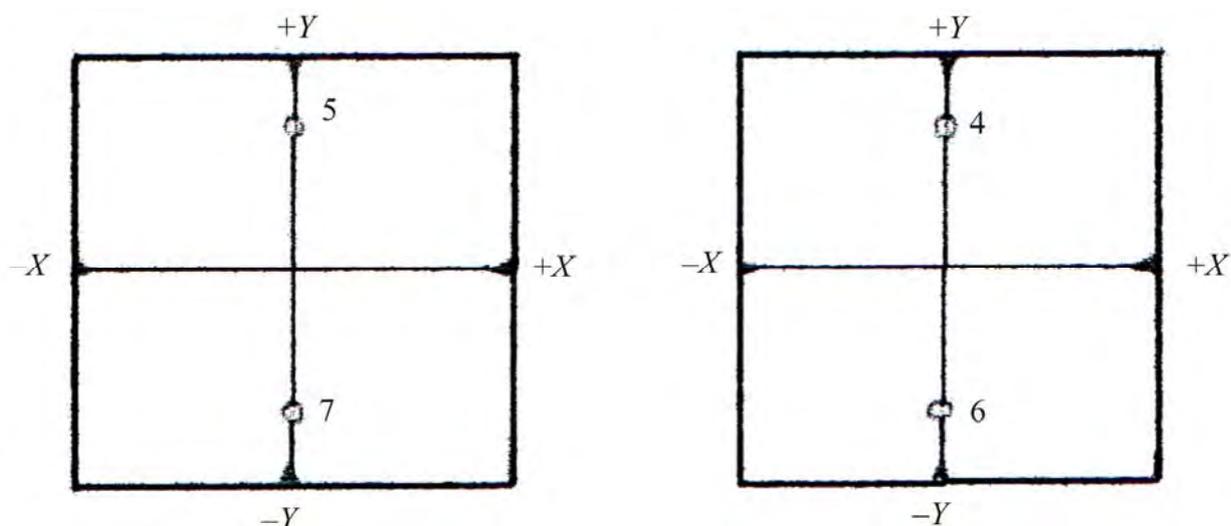


Рис. 69. Схема расположения опознаков на аэрофотоснимках

2. Вычерчивают схему привязки точек начала и конца трассы (НТ и КТ) к ближайшим опознакам (рис. 70).

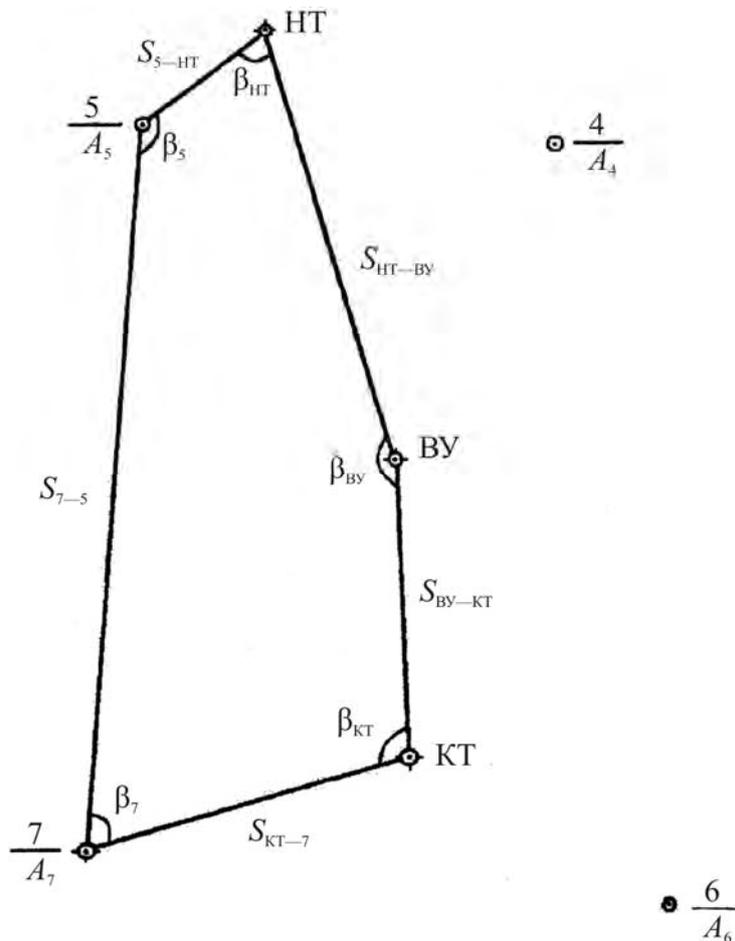


Рис. 70. Схема привязки точек НТ и КТ к опознакам

3. Измеряют на аэроснимке расстояния S от выбранных ближайших опознаков до соответственных точек начала или конца трассы, а также между опознаками и вычисляют их значения на местности.

Пример:

$$\begin{aligned}
 S_{5-НТ} &= 21 \text{ мм} \cdot 21403 = 44946 \text{ мм} = 449,46 \text{ м}; \\
 S_{КТ-7} &= 45,4 \text{ мм} \cdot 21403 = 971696 \text{ мм} = 971,70 \text{ м}; \\
 S_{НТ-ВУ} &= 1284,18 \text{ м}; \\
 S_{ВУ-КТ} &= 856,12 \text{ м}; \\
 S_{7-5} &= 97,5 \text{ мм} \cdot 21403 = 2086792 \text{ мм} = 2086,80 \text{ м}.
 \end{aligned}$$

4. Измеряют геодезическим транспортиром дирекционные углы, и вычисляют их обратные значения.

Пример:

Значения дирекционных углов:

прямые	обратные
$\alpha_{5-НТ} = 49^{\circ}00'$;	$\alpha_{НТ-5} = 229^{\circ}00'$;
$\alpha_{НТ-ВУ} = 159^{\circ}00'$;	$\alpha_{ВУ-НТ} = 339^{\circ}00'$;
$\alpha_{ВУ-КТ} = 174^{\circ}00'$;	$\alpha_{КТ-ВУ} = 354^{\circ}00'$;
$\alpha_{КТ-7} = 251^{\circ}00'$;	$\alpha_{7-КТ} = 71^{\circ}00'$;
$\alpha_{7-5} = 1^{\circ}00'$.	$\alpha_{5-7} = 181^{\circ}00'$.

5. По разности дирекционных углов вычисляют проектные углы β_i .

Пример:

$$\begin{aligned}\beta_5 &= \alpha_{5-7} - \alpha_{5-НТ} = 181^\circ 00' - 49^\circ 00' = 132^\circ 00'; \\ \beta_{НТ} &= \alpha_{НТ-5} - \alpha_{НТ-ВУ} = 229^\circ 00' - 159^\circ 00' = 70^\circ 00'; \\ \beta_{ВУ} &= \alpha_{ВУ-НТ} - \alpha_{ВУ-КТ} = 339^\circ 00' - 174^\circ 00' = 165^\circ 00'; \\ \beta_{КТ} &= \alpha_{КТ-ВУ} - \alpha_{КТ-7} = 354^\circ 00' - 251^\circ 00' = 103^\circ 00'; \\ \beta_7 &= \alpha_{7-КТ} - \alpha_{7-5} = 71^\circ 00' - 1^\circ 00' = 70^\circ 00'.\end{aligned}$$

К о н т р о л ь:

$$\begin{aligned}\sum \beta_{теор} &= 180^\circ(n - 2) = 180^\circ(5 - 2) = 540^\circ 00'; \\ \sum \beta &= 132^\circ 00' + 70^\circ 00' + 165^\circ 00' + 103^\circ 00' + 70^\circ 00' = 540^\circ 00'.\end{aligned}$$

6. По данным склонения магнитной стрелки и сближения меридианов, вычисляют магнитные азимуты и их румбы по формуле

$$A_M = \alpha + (\delta_3 + \gamma_B).$$

Результаты заносят в таблицу (табл. 11).

Пример:

$$\begin{aligned}\delta_3 &= 6^\circ 07'; \\ \gamma_B &= 0^\circ 51'.\end{aligned}$$

Таблица 11

Вычисление магнитных азимутов и их румбов

Номера точек по ходу трассы часовой стрелки	α	r	$\delta + \gamma$	A_M	r_M
5					
НТ	49°00'	СВ: 49°00'	6°58'	55°58'	СВ: 55°58'00"
ВУ	159°00'	ЮВ: 21°00'	6°58'	165°58'	ЮВ: 14°02'00"
КТ	174°00'	ЮВ: 6°00'	6°58'	180°58'	ЮЗ: 0°58'00"
7	251°00'	ЮЗ: 71°00'	6°58'	257°58'	ЮЗ: 77°58'00"
5	1°00'	СВ: 1°00'	6°58'	7°58'	СВ: 7°58'00"

7. Вычисляют наклонные расстояния D , используя расстояния S и отметки точек. Результаты заносят в таблицу (табл. 12).

Пример:

Таблица 12

Вычисление наклонных расстояний

Номера точек по ходу часовой стрелки	S , м	H	$h = A_K - A_H$	$v = \frac{h \cdot 3436'}{S}$	$\cos v$	$D = \frac{S}{\cos v}$
5		527,8				
	449,46		+24,3	2°49'	0,9987919	450,00
НТ		552,1				
	1284,18		+40,49	1°48'	0,9995065	1284,81
ВУ		592,59				
	856,12		+55,32	3°42'	0,9979156	857,91
КТ		647,91				
	971,70		-27,51	1°37'	0,9996020	972,66
7		620,4				
	2086,50		92,6	2°33'	0,9990097	2088,57
5		527,8				

8. Составляют разбивочный чертеж (рис. 71) на листе формата А4 в масштабе снимка.

Пример:

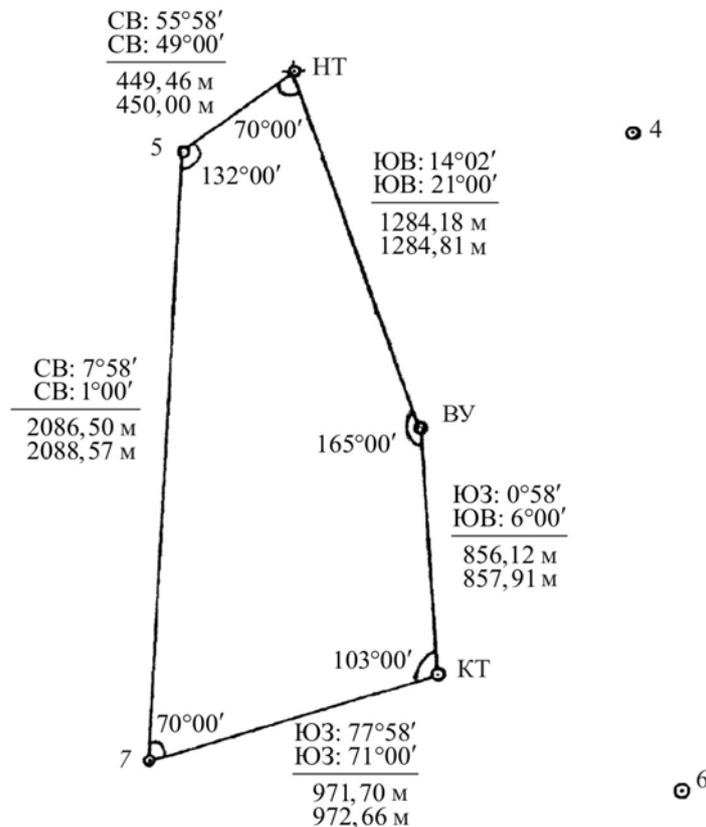


Рис. 71. Разбивочный чертеж

III.8. Изучение устройства стереометра профессора Дробышева (СТД-1, СТД-2) и коррекционных механизмов стереометра СТД-2

В аэрогеодезии фотограмметрические работы могут быть выполнены с использованием стереометров, применяемых для обработки аэроснимков, сделанных в плоскоравнинной или пересеченной местности, соответственно СТД-1 и СТД-2. Эти приборы предназначены для фотограмметрического нивелирования точек трассы, рисовки рельефа на снимке горизонталями и других работ.

Сконструированный профессором Ф. В. Дробышевым и усовершенствованный профессором М. Д. Коншиным стереометр используется для определения превышений между точками по измеренным продольным параллаксам (одной и той же точки, например, A) на стереопаре.

Продольный параллакс вычисляют по формуле

$$P_A = x_{\text{пр}}^A - x_{\text{лев}}^A,$$

где $x_{\text{пр}}$ и $x_{\text{лев}}$ — абсциссы точки A , измеренные на правом и левом снимках. Превышение определяемой точки A над начальной вычисляют по формуле

$$h_{A \text{ нач}} = \frac{H_{\text{нач}} \Delta P_{A \text{ нач}}}{b + \Delta P_{A \text{ нач}}},$$

где $\Delta P_{A \text{ нач}} = P_A - P_{\text{нач}}$ — разность продольных параллаксов определяемой и начальной точки; b — базис фотографирования в масштабе аэроснимка.

При негоризонтальном базисе фотографирования (на наклонных аэроснимках) превышения будут вычислены с ошибками. Для их исправления в измеренные по аэроснимкам разности продольных параллаксов вводят поправки за влияние элементов ориентирования:

колебаний высот фотографирования ΔH , $\Delta H = H_{\text{пр}} - H_{\text{лев}}$;

взаимный продольный угол наклона $\Delta \alpha$, $\Delta \alpha = \alpha_{\text{пр}} - \alpha_{\text{лев}}$;

взаимный поперечный угол наклона $\Delta \omega$, $\Delta \omega = \omega_{\text{пр}} - \omega_{\text{лев}}$;

взаимный угол поворота в своей плоскости правого снимка относительно левого $\Delta \chi$. $\Delta \chi = \chi_{\text{пр}} - \chi_{\text{лев}}$.

При этом учитывают:

$\tau_{\text{л}}$ — взаимный продольный угол наклона левого снимка относительно правого;

$\alpha_{\text{л}}$ — продольный угол наклона левого снимка;

$\omega_{\text{л}}$ — поперечный угол наклона левого снимка.

Устранение влияния этих элементов выполняется на топографическом стереометре при помощи коррекционных механизмов, позволяющих автоматически вводить в измеряемую разность продольных параллаксов поправку $\delta(\Delta P)$. Математическая зависимость координат и элементов взаимного ориентирования с поправкой выражается формулой

$$\delta(\Delta P) = \frac{x_{\text{п}}}{f} \Delta H + \frac{x_{\text{п}}^2}{f} \Delta \alpha + \frac{x_{\text{п}} y}{f} \Delta \omega + y \Delta \chi + \frac{x_{\text{п}}}{f} \Delta P(\alpha_{\text{л}} + \tau_{\text{л}}) - \frac{y}{f} \Delta P \omega_{\text{л}}.$$

В этой формуле шесть членов. Соответственно для введения поправок в стереометре имеется шесть корректоров: масштабный корректор Δd , конвергентное устройство β , корректор переменного поворота правой нити ρ_0 , корректор постоянного поворота правой нити $\chi_{\text{нити}}$, дополнительный масштабный корректор γ_1 , корректор дополнительного поворота левой нити γ_2 .

В учебном процессе применяются снимки плоскоравнинной местности, поэтому в работе используются лишь основные корректоры, которые учитывают первые четыре члена формулы $\delta(\Delta P)$. Каждый корректор вводит поправку в абсциссу точки правого снимка (Δx). С учетом установки корректоров формулу $\delta(\Delta P)$ можно написать так:

$$\Delta x = \frac{x_{\text{п}}}{d} \Delta d + \frac{x_{\text{п}}^2}{d} \beta + \frac{x_{\text{п}} y}{r} \rho_0 - y \chi_{\text{нити}}.$$

Значения установки шкал корректоров вычисляются по формулам

$$\Delta d = \frac{d}{f} \Delta H; \quad \beta = \frac{d}{f} \Delta \alpha; \quad \rho_0 = \frac{r}{f} \Delta \omega; \quad \chi_{\text{нити}} = \Delta \chi,$$

где Δd — значение для установки масштабного корректора; β — значение для установки конвергентного корректора; ρ_0 — значение для установки корректора переменного поворота правой нити; $\chi_{\text{нити}}$ — значение для установки корректора постоянного поворота правой нити.

Общий вид стереомера приведен на рис. 72.

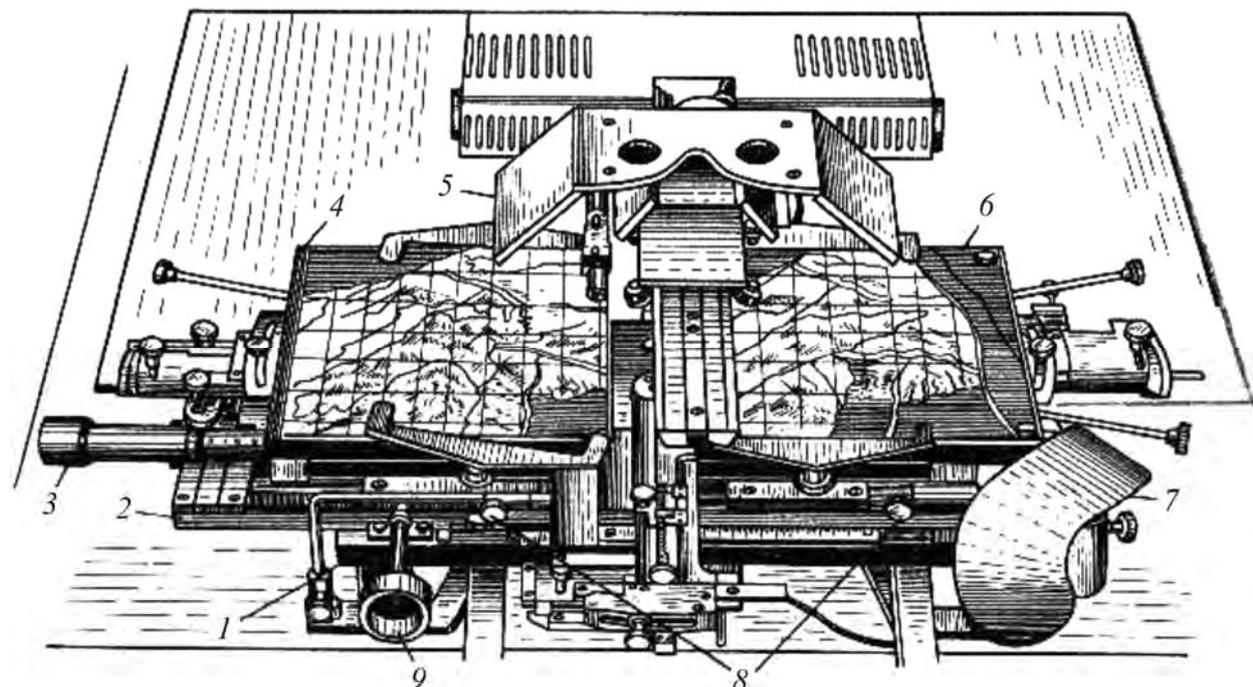


Рис. 72. Общий вид стереомера СТД-2: 1 — чугунное основание прибора; 2 — основная каретка (перемещается вдоль четырех направляющих роликов, расположенных на чугунном основании); 3 — параллактический винт (P); 4, 6 — кассеты (левая и правая); 5 — линзово-зеркальный стереоскоп; 7 — подлокотник; 8 — стойки нитедержателей (левого и правого); 9 — штурвал X , перемещающий основную каретку по оси X

Общая схема и детализировка стереометра СТД-2 представлены на рис. 73.

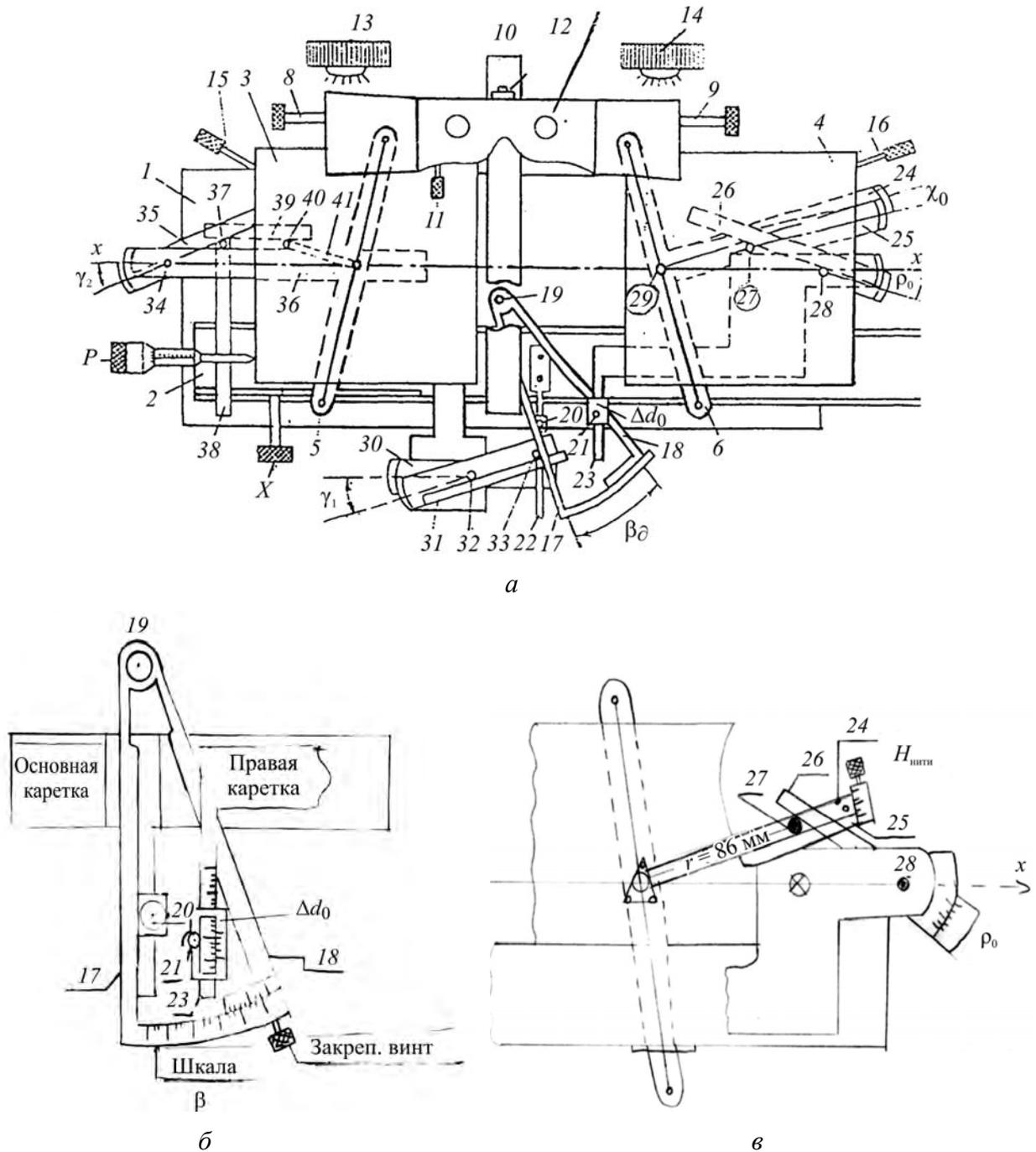


Рис. 73. Схема стереометра СТД-2: *а* — схема коррекционных механизмов стереометра; *б* — масштабно-конвергентное устройство; *в* — корректоры постоянного и переменного поворота правой нити

Масштабный корректор (Δd) (см. рис. 73, *а*, *б*) служит для устранения влияния на результаты измерения параллаксов разномасштабности снимков. Он состоит из линеек 17 и 18, направляющих линеек 22 и 23, ползушек 20 и 21 с укрепленными на них роликами. Центр 19 вращения линеек 17 и 18 — укреплен на чугунном основании. Направляющая линейка 22 наглухо скреплена с основной кареткой, по которой может перемещаться ползушка 20 с подвижным роликом, расположенным на расстоянии d 100 мм от центра вращения.

С правой кареткой скреплена направляющая линейка 23, по которой может перемещаться ползушка 21 с роликом, контактирующим с коррекционной линейкой 18. Так как расстояние от этого ролика до центра не равно d , ролики 20 и 21 под ползушками передвинутся по оси абсцисс на разные расстояния. Ролик 21 сместится на дополнительную величину Δx , на которую сдвинется правая каретка. В результате в измеренный продольный параллакс введется поправка за изменение высот фотографирования. При $\Delta H = 0$; $\Delta d = 0$, масштабный корректор выключен ([см. рис. 73, а](#)).

При существующем колебании высот фотографирования изменяется масштаб снимков. Теоретически приводят масштаб правого снимка к масштабу левого, для этого вычисляют установку масштабного корректора

$$\Delta d = \frac{d}{f} \Delta H.$$

Эту величину устанавливают на шкале корректора Δd — ролик 21 сместит правую каретку дополнительно на величину

$$\Delta x_1 = \frac{x}{d} \Delta d,$$

где x — абсцисса точки; d — постоянная корректора и равна 100 мм.

Эта величина автоматически исправит измеренный продольный параллакс на величину

$$\Delta x_1 - P_{\text{испр}} = P_{\text{изм}} + \Delta x_1.$$

Конвергентное устройство состоит из линеек 17, 18, соединенных в центре 19, и шкалы β , имеющей закрепительный и наводящий винт. Установка корректора β производится по шкале β , когда продольные углы наклона правого и левого снимка не равны. Значение установки шкалы вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{d}{f} \Delta \alpha.$$

При общем перемещении линеек 17 и 18 вокруг центра 19, ролик 21 по оси X пройдет большее на величину ΔX_2 расстояние

$$\Delta X_2 = \frac{X^2}{d} \beta.$$

Измеренный продольный параллакс, с учетом поправки на величину ΔX_2 , должен быть равен

$$P_{\text{изм}} + \Delta X_2 = P_{\text{исп}}.$$

Корректор постоянного поворота правой нити ($\chi_{\text{нити}}$) поворачивает правую нить на угол χ . Корректор переменного поворота правой нити (ρ) — корректирует положение правого снимка относительно левого за счет изме-

нения поперечного угла наклона $\Delta\omega$. Оба корректора связаны с центром правого нитедержателя — 29. Схема корректоров постоянного и переменного поворота правой нити приведены на [рис. 73, в](#).

Детали корректора переменного поворота правой нити ([см. рис. 73, а, в](#)):

27 — подвижный ролик;

29 — центр правого нитедержателя;

26 — подвижная линейка;

28 — неподвижный ролик шкалы ρ .

Установка отсчета по шкале ρ вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{r}{f} \Delta w,$$

где $\Delta w = w_{\text{пр}} - w_{\text{лев}}$ — взаимный поперечный угол наклона правого снимка относительно левого; $r = \text{const}$ — расстояние подвижного ролика от центра нитедержателя ($r = 86$ мм).

Поправка, вводимая корректором ρ_0 в измерение продольного параллакса:

$$\Delta X_3 = \frac{XU}{r} \rho_0.$$

Корректор постоянного поворота правой нити ([рис. 73, а, в](#)):

24 — неподвижная линейка χ нити;

25 — шкала $\chi_{\text{нити}}$, с закрепительным и наводящим винтами.

Устанавливаемый для выполнения корректировки отсчет по шкале $\chi_{\text{нити}}$ вычисляется по формуле

$$\chi_{\text{нити}} = \chi_{\text{пр}} - \chi_{\text{лев}} = \Delta\chi.$$

Поправка, вводимая корректором $\chi_{\text{нити}}$ в измеренный продольный параллакс, вычисляется по формуле

$$\Delta x_4 = u\chi_{\text{нити}}.$$

Измеренный продольный параллакс по винту P исправляется автоматически корректорами 1, 2, 3, 4 на величины ΔX_1 ; ΔX_2 ; ΔX_3 ; ΔX_4 .

$$P_{\text{испр}} = P_{\text{изм}} + \Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3 + \Delta X_4.$$

III.9. Работа на стереометре

Последовательность выполнения работы:

1. Для получения измерительноспособной стереоскопической модели включают автоматическую работу коррекционных механизмов. Подготавливают прибор к работе, т. е. на соответствующих шкалах устанавливают отсчеты: по шкале параллактического винта P — отсчет $v_{\text{ср}}$; по шкалам $\chi_{\text{л}}$ и $\chi_{\text{пр}}$ отсчет, равный 0; по шкале $\Delta d = 100$ мм; по шкале $\beta = 0$, $\chi_{\text{нити}} = 0$, $\rho = 0$, $\gamma_1 = 0$, $\gamma_2 = 0$.

2. Завязывают в нитедержателях правую и левую нити, предварительно окрашенные соответственно в красный и зеленый цвет. На каждой нити завязывают узелки.

3. Выполняют центрирование узелков. Работают монокулярно (отдельно левым и правым глазом). Штурвалом X правую каретку наводят на центр правой кассеты. Смотря в стереоскоп правым глазом, перемещают рукой узелок на центр правой кассеты. Аналогичные действия выполняют с левым узелком (рис. 74).

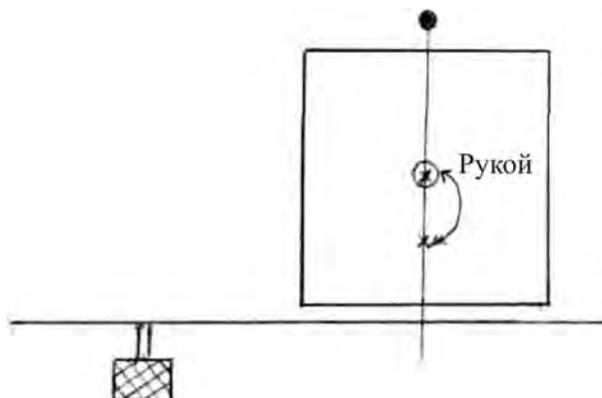


Рис. 74. Центрирование узелков

При последующем бинокулярном рассматривании отцентрированные узелки обычно расходятся по оси Y . Возникающее двоение устраняют вращением винта зрительного поперечного параллакса. Для этого штурвалом X перемещают основную каретку так, чтобы и левый и правый узелки проходили через соответствующие центры кассет.

4. Выполняют центрирование снимков: штурвалом X правую нить наводят на центр правой кассеты. Открепив снимкодержатель правой кассеты, устанавливают снимок так, чтобы правый узелок оказался над центром снимка. Затем аналогичные действия выполняют с левым снимком.

5. Ориентируют снимки по начальным направлениям, перемещая штурвалом X основную каретку. При бинокулярном наблюдении над центрами снимков вновь появляется двоение узелков по оси Y . Над правым центром его устраняют вращением наводящего винта шкалы $\chi_{лв}$, над левым — микрометрическим винтом шкалы $\chi_{пр}$ (рис. 75).

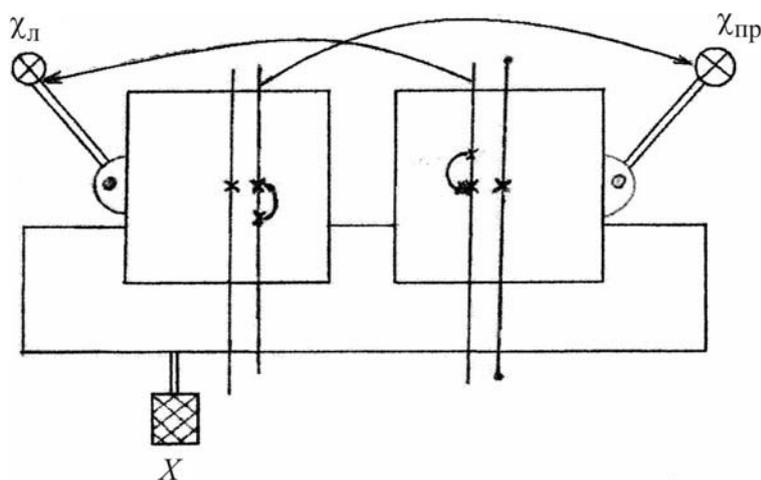


Рис. 75. Ориентирование снимков по начальным направлениям

Действия по ориентированию повторяют до тех пор, пока не исчезнет двоение обоих узелков по оси Y . Результатом ориентирования по начальным направлениям является создание стереоскопической модели.

6. Ориентируют снимки по четырем высотным точкам (опознакам) (табл. 13). Опознаки на снимке должны иметь стандартное расположение.

Перед выполнением ориентирования предварительно вычисляют по высотам опорных точек разности продольных параллаксов. Результаты заносят в таблицу.

Пример:

$$b_{\text{ср}} = 66,9 \text{ мм}; H_{abc} = 4516 \text{ м}; H_{\text{нач}} = H_{abc} - A_4 = 4019 \text{ м}.$$

Таблица 13

Ориентирования снимков по четырем высотным точкам

Номера точек	A_i , м	$h_i = A_i - A_{\text{н}}$, м	$\Delta P = \frac{b_{\text{ср}} h_i}{(H_{\text{нач}} - h_i)}$, мм	$\Delta P_{\phi} = P_i - P_4$, мм
Начальная 4	497,0	0	0	
6	508,4	11,4	0,19	
5	527,8	30,8	0,52	
7	620,4	123,4	2,12	

Взаимное ориентирование снимков по четырем высотным точкам выполняют при включенных в работу корректорах. Результатом является построенная геометрическая модель местности (виден рельеф, закреплены две нити, контуры не дwoятся).

При отсутствии возможности вычисления установок для корректоров используют не элементы взаимного ориентирования, а высоты опознаков. Измеряют продольные параллаксы на четырех точках, например 4, 6, 5, 7 (рис. 74), по ним вычисляют разности продольных параллаксов $\Delta P = P_i - P_{\text{н}}$, которые должны быть равными вычисленным по формуле

$$\Delta P = \frac{b_{\text{ср}} h_{i-\text{н}}}{(H_{\text{нач}} - h_{i-\text{н}})}.$$

Такое равенство будет идеальным при $\Delta \alpha = 0$; $\Delta \chi = 0$; $\Delta \omega = 0$; $\Delta H = 0$.

В противном случае уравнивание достигается включением в работу корректоров. Для их включения необходимо выполнить два действия: взять отсчет по винту продольных параллаксов; установить вычисленные отсчеты по его шкале для соответствующих точек (опознаков).

Пример:

Наблюдая правым глазом, штурвалом X наводят правую нить на точку 4 правого снимка. При наблюдении левым глазом отмечено несовпадение левой нити с точкой 4 левого снимка. Совмещают их вращением параллактического винта P , по шкале которого взяли отсчет $P_4 = 60,45$ мм (рис. 76).

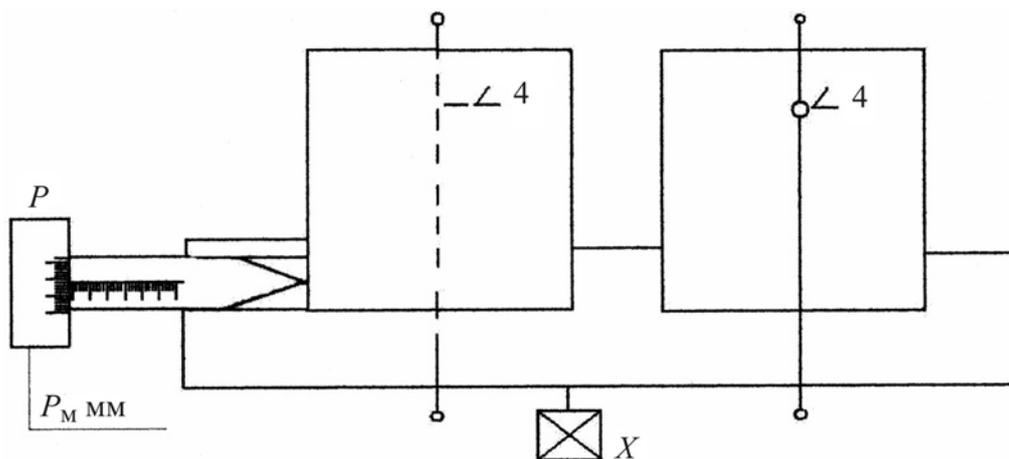


Рис. 76. Взятие отсчета по винту продольных параллаксов

Вычисляют отсчет на точку б:

$$P_6 = P_4 + \Delta P_{6-4} = 60,45 + 0,19 = 60,64,$$

после чего устанавливают этот отсчет по шкале винта продольных параллаксов P . Штурвалом X наводят левую нить на точку б левого снимка. Визируя правым глазом, отмечают несовпадение нити с точкой б на правом снимке (рис. 77).

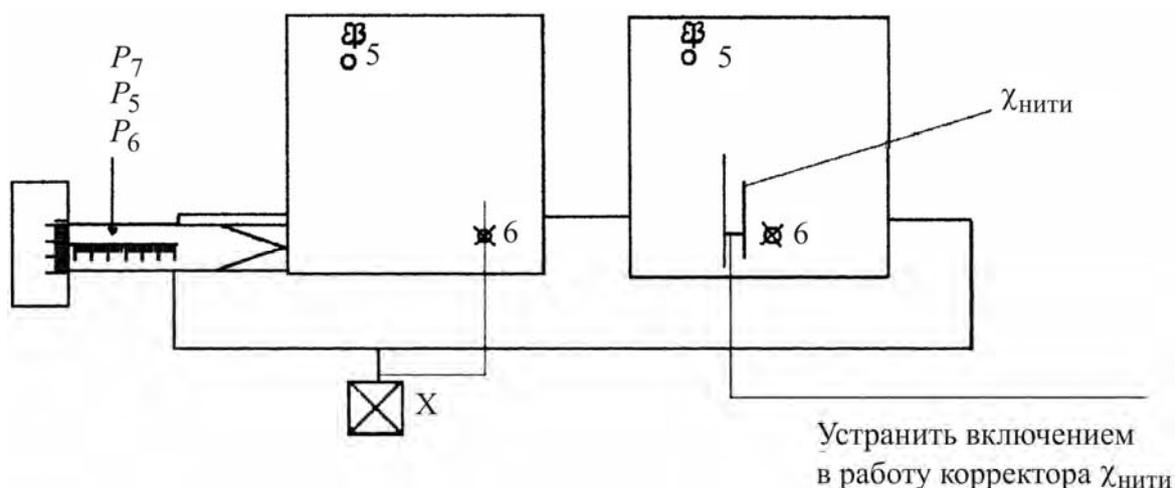


Рис. 77. Установка отсчета по винту продольных параллаксов

Нить передвигают на половину отклонения, действуя корректором $\chi_{нити}$. Затем вновь наблюдают точку 4, берут отсчет P_4 :

$$P_4' = P_4 = 60,64 \text{ мм.}$$

Вычисляют отсчет на точке б по винту P :

$$P_6' = P_4' + \Delta P_{6-4} = 60,64 + 0,19 = 60,83 \text{ мм.}$$

При установке по параллактическому винту отсчета P_6' наблюдают совмещение нитей с точкой б на левом и правом снимках.

Затем переходят к ориентированию точек 4 и 5. Для этого вычисляют

$$P_5 = P_4'' + \Delta P_{5-4} = 60,64 + 0,52 = 61,16 \text{ мм.}$$

Устанавливают его по шкале винта P . Двоение нитей при этом отсчете на 5 точку на правом снимке устраняют корректором Δd .

Вычисляют отсчет на точку 7:

$$P_7 = P_4'' + \Delta P_{7-4} = 60,64 + 2,12 = 62,76 \text{ мм.}$$

Устанавливают его по шкале винта P .

Несовпадение правой нити с точкой 7 на правом снимке устраняют на одну половину корректором β , а другую половину — корректором ρ :

$$(\frac{1}{2}\beta + \frac{1}{2}\rho).$$

Контроль: Берут отсчеты на все точки и вычисляют разности продольных параллаксов ΔP :

$$\begin{aligned} P_4 &= 60,45 \text{ мм;} & \Delta P_{6-4} &= 0,19 \text{ мм;} \\ P_6 &= 60,64 \text{ мм;} & \Delta P_{7-4} &= 2,12 \text{ мм;} \\ P_7 &= 62,57 \text{ мм;} & \Delta P_{5-4} &= 0,52 \text{ мм.} \\ P_5 &= 60,97 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Вычисленные и табличные значения ΔP не должны различаться более, чем 0,03 мм.

7. Выполняют фотограмметрическое нивелирование всех точек трассы.

Стереоскопически берут отсчеты на все точки трассы. Для этого, наблюдая бинокулярно, поочередно наводят штурвалом X правую нить на наблюдаемые пикетные точки. Видны две нити, при этом всегда левее должна располагаться зеленая нить. Параллактическим винтом совмещают обе нити и берут отсчеты, которые заносят в таблицу (табл. 14).

Пример:

$$b_{\text{ср}} = 66,9 \text{ мм} \quad H_{abc} = 4516 \text{ м} \quad H_{\text{нач}} = 4019 \text{ м.}$$

Таблица 14

Таблица фотограмметрического нивелирования всех точек трассы

Номера точек	Отсчет по винту P_i , мм	$(\pm)\Delta P = P_i - P_H$, мм	$(\pm)h_{i-H} = \frac{\Delta P H_{\text{нач}}}{b_{\text{ср}} + \Delta P}$, м	$A_i = A_4 + h_{i-H}$, м
начальная 4	59,17	0	0	497
НТ (ПК0)	60,10	0,93	55,10	552,10
ПК1	60,13	0,96	56,86	553,86
ПК2	60,14	0,97	57,44	554,44
ПК3	60,14	0,97	57,44	554,44
ПК4	60,16	0,99	58,61	555,61
НК	60,19	1,02	60,36	557,36
ПК5	60,19	1,02	60,36	557,36
ПК6	60,26	1,09	64,43	561,43
ПК7	60,31	1,14	67,34	564,34
ПК8	60,46	1,29	76,03	573,03
ПК9	60,50	1,33	78,34	575,34

Номера точек	Отсчет по винту P_i , мм	$(\pm)\Delta P = P_i - P_H$, мм	$(\pm)h_{i-H} = \frac{\Delta P H_{нач}}{b_{ср} + \Delta P}$, м	$A_i = A_4 + h_{i-H}$, м
ПК10	60,49	1,32	77,76	574,76
ПК11	60,66	1,49	87,56	584,56
ПК12	60,72	1,55	91,01	588,01
СК	60,80	1,63	95,59	592,59
ВУ	60,80	1,63	95,59	592,59
ПК13	60,80	1,63	95,59	592,59
ПК14	60,98	1,81	105,87	602,87
ПК15	61,14	1,97	114,96	611,96
ПК16	61,21	2,04	118,93	615,93
ПК17	61,26	2,09	121,75	618,75
ПК18	61,34	2,17	126,27	623,27
ПК19	61,33	2,16	125,70	622,70
ПК20	61,42	2,25	130,77	627,77
КК	61,75	2,58	149,24	646,24
ПК21	61,77	2,60	150,35	647,35
КТ	61,78	2,61	150,91	647,91

По вычисленным отметкам точек ПК строится продольный профиль трассы.

III.10. Изучение устройства стереокомпаратора фирмы «Карл Цейс Йена»

Стереокомпаратор является высокоточным фотограмметрическим прибором и применяется для точечной обработки снимков в аэрогеодезии, топографии и астрономии. Измерения могут выполняться при минимальных затратах времени с передачей результатов на компьютер для дальнейшей математической обработки. Используя стереокомпаратор, можно очень точно определять координаты точек, измерять продольные и поперечные параллаксы, вычислять элементы взаимного ориентирования (рис. 78).

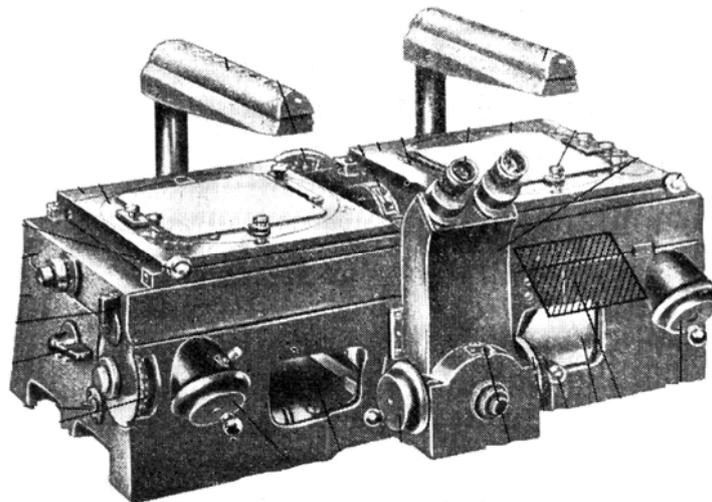


Рис. 78. Внешний вид стереокомпаратора

Аналитический способ определения элементов взаимного ориентирования.
 Для определения элементов взаимного ориентирования используют расположенные на аэроснимках стандартно опознаки (рис. 79) в соответствии с координатами, приведенными в табл. 15.

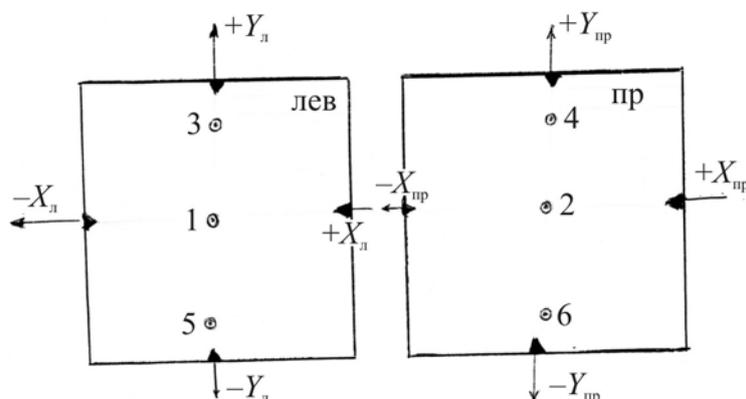


Рис. 79. Стандартная схема расположения точек

Таблица 15

Координаты стандартного расположения точек на аэроснимках

Номера точек	$X_{л}$	$X_{пр}$	$Y_{л}$	$Y_{пр}$
1	0	-b	0	0
3	0	-b	+Y _{max}	+Y _{max}
5	0	-b	-Y _{max}	-Y _{max}
2	b	0	0	0
4	b	0	+Y _{max}	+Y _{max}
6	b	0	-Y _{max}	-Y _{max}

Существует математическая связь между координатами, поперечными параллаксами и элементами взаимного ориентирования:

$$q = \frac{X_{л} Y_{л}}{f_{к} \rho} \tau_{л} + \frac{X_{л} Y_{пр}}{f_{к} \rho} \tau_{пр} - \frac{f_{к} - Y_{л} Y_{пр}}{L} \varepsilon + X_{л} \chi_{л} - X_{пр} \chi_{пр}.$$

Используя стереокомпаратор, определяют поперечные параллаксы точек в миллиметрах:

$$\begin{aligned} q_1 = & & q_4 = & & q = Y_{пр} - Y_{лев} & \text{— поперечные параллаксы;} \\ q_2 = & & q_5 = & & P = X_{пр} - X_{лев} & \text{— продольные параллаксы.} \\ q_3 = & & q_6 = & & & \text{—} \end{aligned}$$

Компьютерная программа обработки результатов включает вычисление их разности в миллиметрах:

$$\begin{aligned} q_3 - q_5 = & \\ q_4 - q_6 = & \\ q_3 + q_5 - 2q_1 = & \\ q_4 + q_6 - 2q_2 = & \end{aligned}$$

Расчет элементов взаимного ориентирования производится по формулам

$$\tau_{\text{пр}} = \left[-\frac{f}{2by} (q_3 - q_5) \right] \rho;$$

$$\tau_{\text{л}} = \left[-\frac{f}{2by} (q_4 - q_6) \right] \rho;$$

$$\varepsilon = \left[-\frac{f}{2y^2} (q_3 + q_5 - 2q_1) \right] \rho;$$

$$\varepsilon = \left[-\frac{f}{2y^2} (q_4 + q_6 - 2q_2) \right] \rho,$$

где ρ — значение радиана.

$$\rho^\circ = 57,3^\circ;$$

$$\rho' = 3438';$$

$$\rho'' = 206265''.$$

Значения углов $\chi_{\text{л}}$ и $\chi_{\text{пр}}$ получают при ориентировании снимков на стереокомпараторе по начальному направлению.

Схематическая конструкция стереокомпаратора изображена на рис. 80.

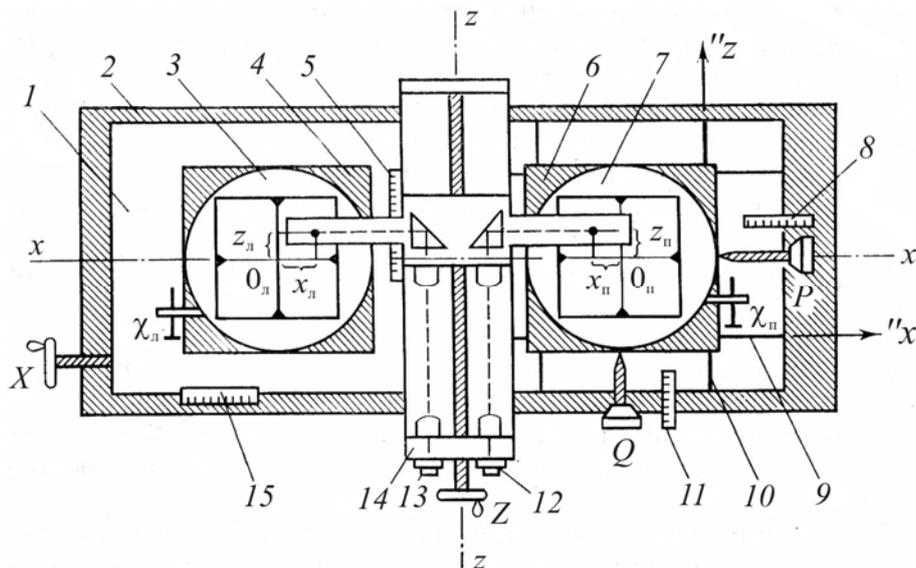


Рис. 80. Основные части стереокомпаратора: 1 — основная каретка; 2 — станина; 3 — левая кассета; 4 — левая каретка; 5 — шкала, регистрирующая величину перемещения измерительных марок по оси Z; 6 — правая каретка; 7 — правая кассета; 8 — шкала продольных параллаксов; 9 — направляющие движением винта продольных параллаксов; 10 — направляющие движение винта поперечных параллаксов; 11 — шкала поперечных параллаксов; 12, 13 — неподвижные окуляры (12 — правый, 13 — левый); 14 — биноклярный микроскоп; 15 — шкала, регистрирующая перемещение основной каретки по оси X; 16 — зажимы для закрепления снимков на кассетах; 17 — пульт для установки фотоотпечатка; 18, 19 — рычаги, фиксирующие неподвижность основной каретки; 20 — выключатель; 21, 22 — осветитель снимков снизу; 23, 24 — осветитель снимков сверху; X — штурвал для перемещения фотоснимков совместно с основной кареткой; Z — штурвал для дополнительного перемещения правой каретки по оси z; P — винт продольных параллаксов; Q — винт поперечных параллаксов

Особенности конструкции и использования стереокомпаратора:

1. Бинокуляр стереоскопического микроскопа неподвижен.
2. Оператор рассматривает точки при неизменном положении глаз.
3. Имеется раздельная фокусировка стереомикроскопа левого и правого изображений.
4. Кассеты имеют стеклянное основание, куда укладываются фотографии (фотопластинка или фотопленка).
5. Обеспечено наблюдение негативов на стеклянных фотопластинках или на пленках без изменения фокусировки.
6. Позитивные отпечатки на основе разной толщины могут фокусироваться отдельно.
7. Пленки любого формата до максимальной величины (186 мм × 186 мм) выравниваются путем наложения покровных стеклянных пластин.
8. Отсчеты координат снимков и параллакс осуществляют по измерительным барабанам, обеспечивающим высокую точность.

Оптическая система стереоскопического микроскопа:

Увеличение — 8×.

Диаметр выходного зрачка — 3 мм.

Диаметр поля зрения — 16 мм.

Острота зрения оператора настраивается в пределах ±5 диоптрий поворотом наглазников окуляров. Совместный поворот окуляров позволяет установить глазной базис от 52 до 76 мм. В поле зрения микроскопа имеются измерительные марки в виде креста **+** и в виде грибка **!**.

Осветительные устройства наблюдательной системы:

Две специальные лампы освещают негативы сверху, а фотопластинки и фотопленки — снизу при помощи переключателя.

Технические характеристики:

- 1) максимальный полезный формат снимков 186 мм × 186 мм;
- 2) максимальный формат фотопластинок 188 мм × 199 мм;
- 3) увеличение стереоскопического микроскопа 8×;
- 4) параметры крестообразных марок:
 - расстояние от острия центральной марки 5 мм;
 - высота центральной марки 0,35 мм;
 - диаметр точечной марки 0,05 мм;
- 5) цена делений измерительных барабанов:
 - для абсцисс X 0,01...0,02 мм;
 - для ординат $Y = Z$ 0,01...0,02 мм;
 - для продольных параллакс P_X 0,001...0,005 мм;
 - для поперечных параллакс $P_Y = P_Z$ 0,01...0,002 мм;
- 6) диапазоны измерений:
 - для абсцисс X до 235 мм;
 - для ординат $Y = Z$ до 180 мм;
 - для продольных параллакс P_X до 75 мм;
 - для поперечных параллакс $P_Y = P_Z$ до ±10 мм;

- 7) диапазон перемещения вспомогательной салазки для левого снимка при нормальном продолжении фотограмм и $P_x = 0$:
- во внутреннем направлении до 37 мм;
 - во внешнем направлении до 19 мм;
- 8) диапазон крена снимков до 360°;
- 9) электропитание 220 в, 50 Гц;
- 10) потребляемая мощность 50 ватт;
- 11) вес стереокомпаратора 132 кг.

III.11. Точные теодолиты 3Т5КП. Отчетные устройства. Измерение горизонтальных углов способом круговых приемов

Точный теодолит 3Т5КП предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов, в разбивочной сети построенной методом триангуляции.

Расшифровка марки теодолита 3Т5КП: 3 — модель, Т — теодолит, 5 — средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов одним приемом в секундах, К — компенсатор, П — прямое изображение.

Диапазон измерения горизонтальных углов β — 0...360°, вертикальных углов ν — 0...-55°, и 0...+60°.

На рис. 81, [82](#) изображены части теодолита.

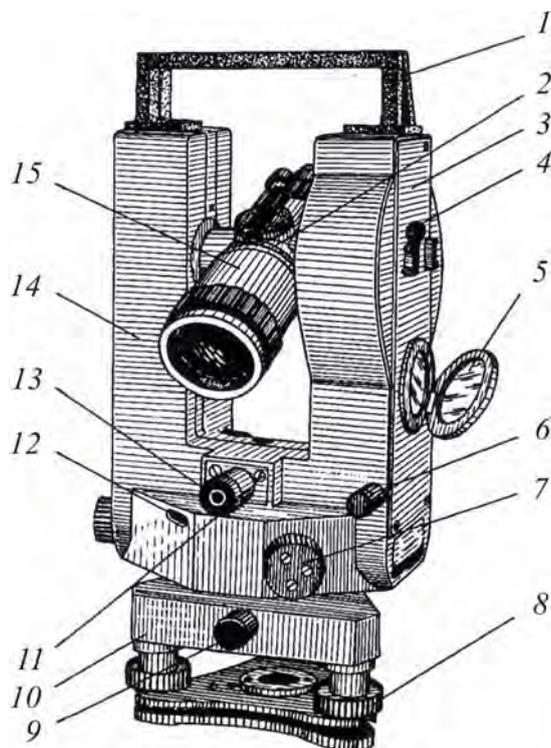


Рис. 81. Теодолит 3Т5КП, вид спереди: 1 — рукоятка для переноса теодолита; 2 — клиновое кольцо для исправления коллимационной погрешности; 3 — боковая крышка; 4 — пробка; 5 — зеркало подсветки; 6 — установочный винт, для установки отсчетов в микроскопа; 7 — рукоятка для установки в окне кругоискателя отсчета (от 0° до 360°); 8 — подъемный винт (3 шт.); 9 — закрепительный винт трегера подставки; 10 — трегер-подставка; 11 — малое окулярное кольцо центрира; 12 — окно кругоискателя; 13 — окуляр оптического центрира; 14 — U-образная колонна; 15 — зрительная труба

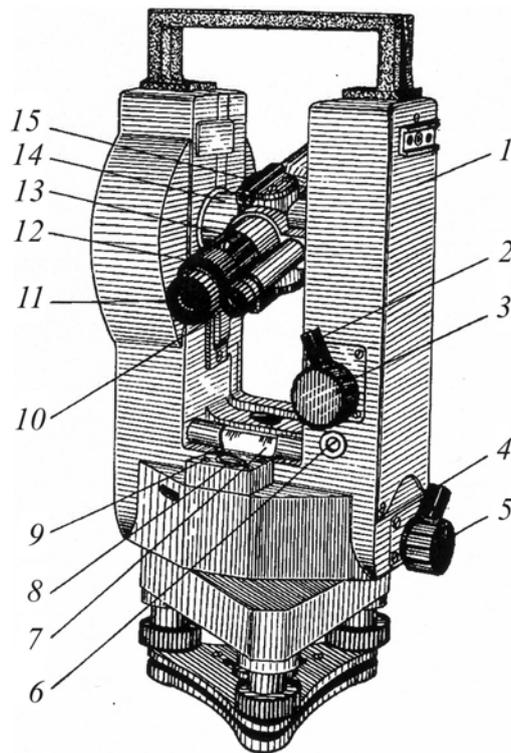


Рис. 82. Теодолит 3Т5КП, вид сзади: 1 — боковая крышка справа; 2 — закрепительный винт зрительной трубы (маховик); 3 — наводящий винт зрительной трубы; 4 — закрепительный винт алидады горизонтального круга; 5 — наводящий винт алидады горизонтального круга; 6 — исправительный винт цилиндрического уровня; 7 — цилиндрический уровень; 8 — круглый уровень; 9 — исправительный винт (4 шт.); 10 — окуляр микроскопа с малым окулярным кольцом; 11 — окуляр зрительной трубы; 12 — колпачок, который скрывает 4 юстировочных винта креста сетки нитей; 13 — кремальера или фокусирующий винт; 14 — горизонтальная ось вращения зрительной трубы; 15 — визир для грубого наведения на точку

Технические характеристики теодолита 3Т5КП:

1. Зрительная труба:

- изображение прямое;
- увеличение 30×;
- угловое поле зрения — $1^{\circ}35'$;
- наименьшее расстояние визирования, м:
 - без дополнительной насадки — 1,5 м;
 - с линзовой насадкой — 0,9 м;
- коэффициент нитяного дальномера — $100 \pm 0,5$;
- постоянное слагаемое нитяного дальномера $C = 0$;
- наружный диаметр оправы объектива — 48 мм.

2. Цена деления уровней:

- цилиндрического — $30''$;
- круглого — $5'$.

3. Оптический центрир:

- изображение — прямое;
- увеличение — 2,5×;
- угловое поле зрения — $4^{\circ}30'$;
- наименьшее расстояние визирования — 0,6 м.

4. Масса:

теодолита — 3,7 кг;

подставка — 0,7 кг;

теодолит в футляре с принадлежностями — 8,8 кг;

штатив — 5,6 кг.

5. Габаритные размеры, мм:

теодолит с подставкой — $345 \times 183 \times 123$;

футляр — $470 \times 240 \times 210$.

Штатив: диаметр головки — 160 мм.

Высота штатива (возможность изменения) — 1000...1600 мм.

Схема осей приведена на рис. 83. Схема поля зрения окуляра шкалового микроскопа приведена на [рис. 84](#).

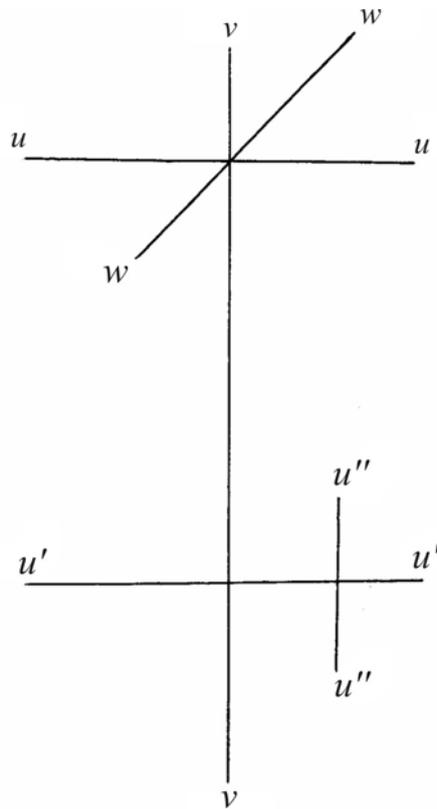


Рис. 83. Схема осей теодолита 3Т5КП: vv — вертикальная ось вращения теодолита; $u'u'$ — ось цилиндрического уровня; $u''u''$ — ось круглого уровня; uu — ось вращения зрительной трубы; ww — визирная ось зрительной трубы

Геометрические условия, предъявляемые к осям:

1) $u'u' \perp vv$ — ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита;

2) $u''u'' \parallel vv$ — ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения теодолита;

3) $uu \perp vv$ — ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита;

4) $ww \perp vv$ — визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения трубы.

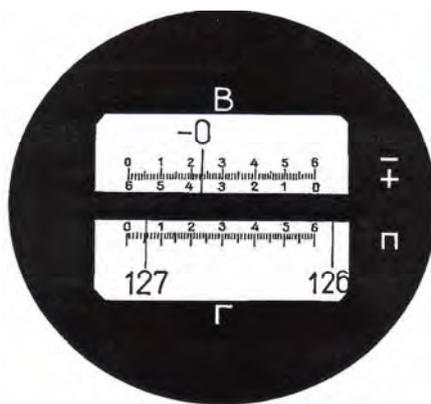


Рис. 84. Схема поля зрения окуляра шкалового микроскопа и отчетов по шкалам горизонтального и вертикального круга

Отсчет по горизонтальному кругу $МГ = 127^{\circ}05'30''$, по вертикальному кругу $МВ = 0^{\circ}23'24''$.

Отчетное устройство:

Цена деления:

лимбов $l_{л} = 1^{\circ}$;

шкал микроскопа — $1'$;

кругов-искателей — 10° .

Диапазон работы компенсатора при вертикальном круге — не менее $\pm 4'$.

Установка теодолита в рабочее положение:

1. Грубое центрирование над станцией — ножками штатива.
2. Приведение вертикальной оси вращения прибора в отвесное положение подъемными винтами с использованием цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга.
3. Точное центрирование над станцией перемещением теодолита по головке штатива при ослабленном станочном винте с использованием оптического центрира.
4. Установка зрительной трубы по глазу вращением малого окулярного кольца зрительной трубы до появления четкого изображения креста сетки нитей и вращением фокусировочного винта до появления четкого изображения предмета.

Последовательность измерения горизонтального угла способом круговых приемов:

1. Устанавливают теодолит на станции A и приводят его в рабочее положение.
2. Наводящими винтами зрительной трубы и горизонтального круга при круге лево (КЛ) грубо, а затем точно наводят перекрестие сетки нитей на наблюдаемую точку 11 (рис. 85).
3. Рукояткой для установки отсчетов в окне кругоискателя устанавливают отсчет в микроскопе по горизонтальному кругу $0^{\circ}00'00''$.
4. Аналогично наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы последовательно на точки 3, 12, 1 и 11 по ходу часовой стрелки и берут отсчеты по шкале микроскопа горизонтального круга на каждой точке соответственно. Записывают их в журнал.

5. Переводят зрительную трубу через зенит, открепив закрепительный винт зрительной трубы, и при положении вертикального круга право (КП) наводят ее на точки 11, 1, 12, 3 и 11 против часовой стрелки.

6. По микроскопу лимба горизонтального круга снимают отсчеты и записывают их в журнал (табл. 16).

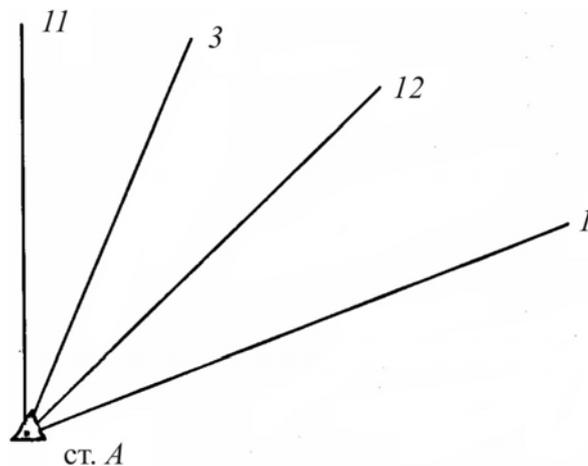


Рис. 85. Схема горизонтальных углов, измеряемых способом круговых приемов

Таблица 16

Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приемов

Направление	Положение вертикального круга	Отсчет по лимбу горизонтального круга	$2C = \text{КЛ} - \text{КП}$	$\frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2}, \delta$	Значение направления
11	КЛ	0°00'00"	12"	0	
	КП	179°59'48"		179°59'54"	0°00'00"
				179°59'54"	
3	КЛ	11°26'06"	06"	(-1",5)	
	КП	191°26'00"		191°26'03"	11°26'07,5"
				191°26'01,5"	
12	КЛ	32°16'00"	06"	(-3")	
	КП	212°15'54"		212°15'57"	32°16'00"
				212°15'54"	
1	КЛ	65°17'00"	04"	(-4",5)	
	КП	245°16'56"		245°16'58"	65°16'59,5"
				245°16'53,5"	
11	КЛ	0°00'06"	12"	(-6")	
	КП	179°59'54"		180°00'00"	0°00'00"
				179°59'54"	

7. Обрабатывают журнал измерения горизонтальных углов:

1) вычисляют незамыкания горизонта (Δ) при круге лево и право (КЛ и КП):

$$\Delta_{\text{КЛ}} = \text{КЛ}_{\text{КОН}} - \text{КЛ}_{\text{НАЧ}} = 0^{\circ}00'06'' - 0^{\circ}00'00'' = 0^{\circ}00'06'';$$

$$\Delta_{\text{КП}} = \text{КП}_{\text{КОН}} - \text{КП}_{\text{НАЧ}} = 179^{\circ}59'54'' - 179^{\circ}59'48'' = 0^{\circ}00'06'';$$

$$\Delta_{\text{ср}} = 0^{\circ}00'06'';$$

$$\delta = -\frac{\Delta_{\text{ср}}}{n}(k-1),$$

где n — число угловых направлений; k — порядковый номер направления; δ — поправка на незамыкание горизонта:

$$\delta_1 = 6''/4 \times (1 - 1) = 0'';$$

$$\delta_2 = 6''/4 \times (2 - 1) = -1,5'';$$

$$\delta_3 = 6''/4 \times (3 - 1) = -3'';$$

$$\delta_4 = 6''/4 \times (4 - 1) = -4,5'';$$

$$\delta_5 = 6''/4 \times (5 - 1) = -6'';$$

2) вычисляют коллимационные погрешности $2C = \text{КЛ} - \text{КП}$;

3) вычисляют средний из отсчетов $\frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2}$;

4) в средние отсчеты вводят поправки δ_i ;

5) вычисляют значения направлений, приведенных к начальному, принимаемому равным 0:

$$\begin{array}{r} 191^{\circ}26'01,5'' \\ - 179^{\circ}59'54'' \\ \hline 11^{\circ}26'07,5'' \end{array} ; \begin{array}{r} 212^{\circ}15'54'' \\ - 179^{\circ}59'54'' \\ \hline 32^{\circ}16'00'' \end{array} ; \begin{array}{r} 245^{\circ}16'53,5'' \\ - 179^{\circ}59'54'' \\ \hline 65^{\circ}16'59,5'' \end{array} ;$$

6) Вычисляют горизонтальные углы β (рис. 86):

$$\beta_1 = 11^{\circ}26'07,5'' - 0^{\circ}00'00'' = 11^{\circ}26'07,5'';$$

$$\beta_2 = 32^{\circ}16'00'' - 11^{\circ}26'07,5'' = 20^{\circ}49'52,5'';$$

$$\beta_3 = 65^{\circ}16'59,5'' - 32^{\circ}16'00'' = 33^{\circ}00'59,5'';$$

$$\beta_4 = 0^{\circ}00'00'' + 360^{\circ} - 65^{\circ}16'59,5'' = 294^{\circ}43'00,5'';$$

$$\Sigma\beta = 360^{\circ} 00'00''.$$

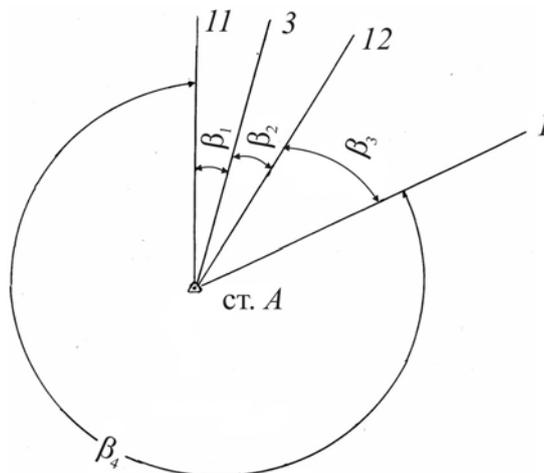


Рис. 86. Схема горизонтальных углов β

III.12. Создание опорной разбивочной сети методом триангуляции

Используя исходные данные, выполняют уравнивание горизонтальных углов, вычисляют длины сторон и координаты точек разбивочной сети, строят план разбивочной сети.

Исходные данные:

$$\begin{array}{lll} \beta_1 = 53^\circ 16,5'; & \beta_6 = 85^\circ 49,6'; & \beta_{11} = 57^\circ 00,6'; \\ \beta_2 = 44^\circ 57,4'; & \beta_7 = 58^\circ 45,8'; & \beta_{12} = 69^\circ 39,6'; \\ \beta_3 = 81^\circ 46,3'; & \beta_8 = 61^\circ 42,7'; & \beta_{13} = 50^\circ 33,4'; \\ \beta_4 = 50^\circ 31,7'; & \beta_9 = 59^\circ 31,7'; & \beta_{14} = 66^\circ 14,5'; \\ \beta_5 = 43^\circ 27,5'; & \beta_{10} = 53^\circ 19,7'; & \beta_{15} = 63^\circ 12,2'; \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} X_B = 2500,75; & \alpha_{A-B} = 127^\circ 30'; \\ Y_B = 4500,25; & d_{A-B} = 381,21 \text{ м.} \end{array}$$

Последовательность выполнения работы:

1. Вычерчивание схемы разбивочной опорной сети методом триангуляции (рис. 87).

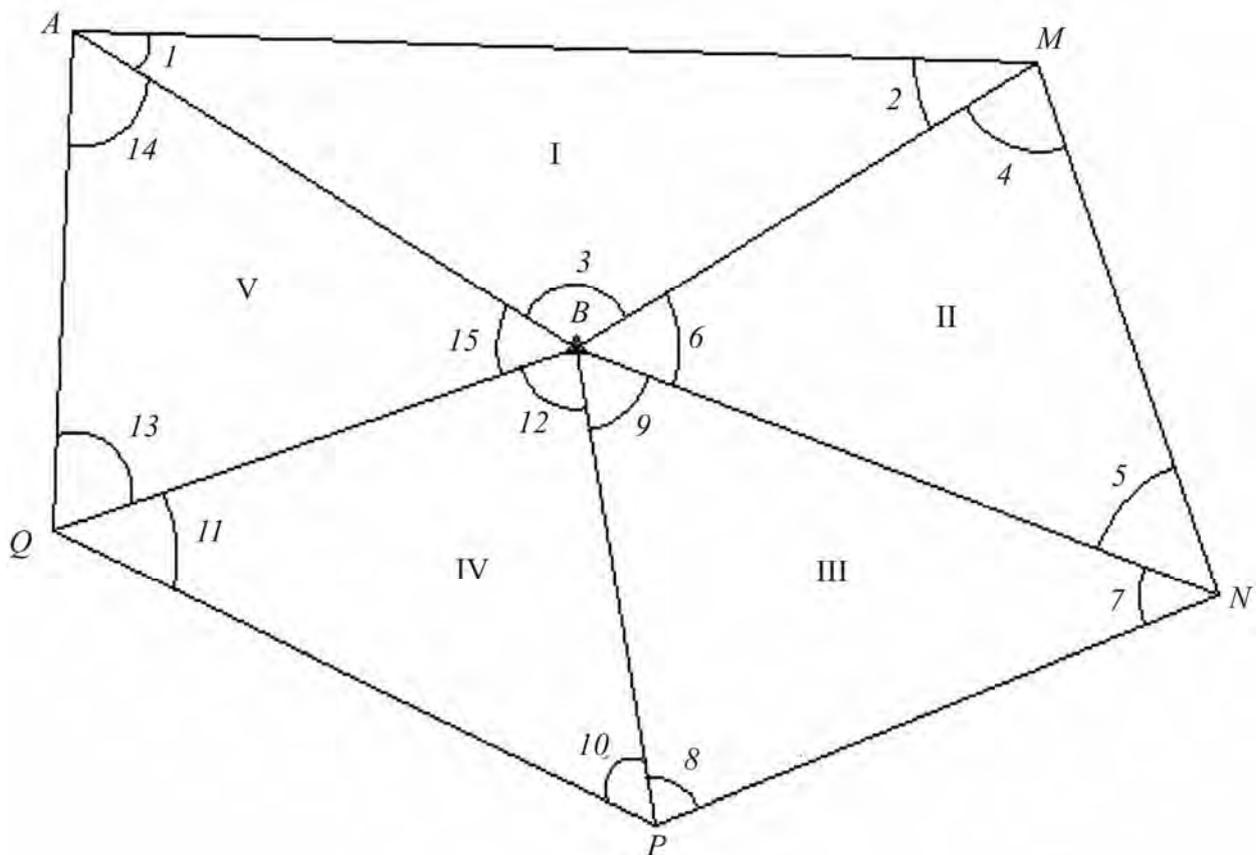


Рис. 87. Схема опорной разбивочной сети методом триангуляции

2. Уравнивание горизонтальных углов β и занесение результатов в ведомость уравнивания горизонтальных углов ([табл. 17](#)).

Таблица 17

Ведомость уравнивания горизонтальных углов опорной разбивочной сети

Номер треугольника	Номер угла	$\beta_{\text{изм}}$	Поправки		$\beta_{\text{исп}} = \beta_{\text{изм}} + v$	$\sin \beta_{\text{исп}}$	d
			v'	v''			
I	1	53°16'06"		+2	53°16'08"	0,801451	$d_{AB} = 381,21$ $d_{AM} = 533,96$ $d_{MB} = 432,39$
	2	44°57'24"		+3"	44°57'27"	0,706582	
	3	81°46'18"	+7"		81°46'25"	0,989710	
	$\sum \beta_{\text{изм}}$	179°59'48"	-12"	-5"	$\sum \beta_{\text{исп}} = 180^\circ$		
II	4	50°42'48"		0"	50°42'48"	0,773988	$d_{MN} = 626,97$ $d_{NB} = 486,56$
	5	43°27'30"		-1"	43°27'29"	0,687823	
	6	85°49'36"	+7"		85°49'43"	0,997351	
	$\sum \beta_{\text{изм}}$	179°59'54"	-6"	+1"	$\sum \beta_{\text{исп}} = 180^\circ$		
III	7	58°45'48"		-9"	58°45'39"	0,855033	$d_{NP} = 476,25$ $d_{BP} = 472,46$
	8	61°42'42"		-10"	61°42'32"	0,880547	
	9	59°31'42"	+7"		59°31'49"	0,861897	
	$\sum \beta_{\text{изм}}$	180°00'12"	+12"	+19"	$\sum \beta_{\text{исп}} = 180^\circ$		
IV	10	53°19'42"		0"	53°19'42"	0,802071	$d_{PQ} = 528,17$ $d_{BQ} = 451,78$
	11	57°0'36"		-1"	57°00'35"	0,838762	
	12	69°39'36"	+7"		69°39'43"	0,937658	
	$\sum \beta_{\text{изм}}$	179°59'54"	-6"	+1"	$\sum \beta_{\text{исп}} = 180^\circ$		
V	13	50°33'24"		-7"	50°33'17"	0,772232	$d_{QA} = 440,62$ $d_{AB} = 381,19$
	14	66°14'30"		-7"	66°14'23"	0,915239	
	15	63°12'12"	+8"		63°12'20"	0,892629	
	$\sum \beta_{\text{изм}}$	180°0'06"	+6"	+14"			

Условие 1 — условие замкнутого горизонта. Из схемы видно, что теоретическая сумма углов $\beta_3 + \beta_6 + \beta_9 + \beta_{12} + \beta_{15} = 360^\circ$. А сумма измеренных углов $\beta_3 + \beta_6 + \beta_9 + \beta_{12} + \beta_{15} = 81^\circ 46' 18'' + 85^\circ 49' 36'' + 59^\circ 31' 42'' + 69^\circ 39' 36'' + 63^\circ 12' 12'' = 359^\circ 59' 24''$.

Следовательно, в измеренные углы $\beta_3, \beta_6, \beta_9, \beta_{12}, \beta_{15}$ необходимо ввести поправки. Для этого необходимо вычислить невязку углов f_β :

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}} = 359^\circ 59' 24'' - 360^\circ 00' 00'' = -0^\circ 00' 36''.$$

Тогда поправка v' в углы $\beta_3, \beta_6, \beta_9, \beta_{12}, \beta_{15}$ будет равна $v' = 36'' / 5$. В углы $\beta_3, \beta_6, \beta_9, \beta_{12}$ вводим поправку $+7''$, а в угол β_{15} — поправку $+8''$.

Условие 2 — условие треугольника: $\sum \beta_1 = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 180^\circ$. Из схемы видно, что первом треугольнике теоретическая сумма углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ должна равняться 180° . А сумма измеренных углов $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 53^\circ 16' 06'' + 44^\circ 57' 24'' + 81^\circ 46' 18'' = 179^\circ 59' 48''$. Тогда невязка углов f_β равна $f_\beta = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}} = 179^\circ 59' 48'' - 180^\circ 00' 00'' = -0^\circ 00' 12''$. Но нужно учесть то, что мы ввели поправку $(+7'')$ в угол β_3 , тогда в углы β_1 и β_2 нам необходимо ввести поправку $-12'' + 7'' = -5''$. В угол β_1 вводим поправку $v'' = +2''$, а в угол β_2 вводим поправку $v'' = +3''$ (табл. 18).

Таблица 18

Вычисление поправок

Номер треугольника	Номер углов	$\beta_{\text{изм}}$	Поправки	
			v'' , первичная	v'' , вторичная
1	1	$53^\circ 16' 06''$	—	+2
	2	$44^\circ 57' 24''$	—	+3
	3	$81^\circ 46' 18''$	+7	—
	$\sum \beta_{\text{изм}}$	$179^\circ 59' 48''$	-12	-5

Также рассматриваем II, III, IV, V треугольники. После вычисляем исправленные горизонтальные углы $\beta_{\text{испр}} = \beta_{\text{изм}} + v$ и синусы исправленных горизонтальных углов $\sin \beta_{\text{испр}}$.

3. По теореме синусов определить длины сторон AM, MN, NP, PQ, QA опорной разбивочной сети.

1-й треугольник:

$$\frac{AB}{\sin \beta_{2_{\text{исп}}}} = \frac{AM}{\sin \beta_{3_{\text{исп}}}} = \frac{MB}{\sin \beta_{1_{\text{исп}}}}.$$

$$AM = \frac{381,21 \cdot 0,989710}{0,706582} = 533,96 \text{ м};$$

$$MB = \frac{533,96 \cdot 0,8014510}{0,9897104} = 432,39 \text{ м}.$$

2-й треугольник:

$$\frac{BM}{\sin \beta_{5_{исп}}} = \frac{MN}{\sin \beta_{6_{исп}}} = \frac{BN}{\sin \beta_{4_{исп}}}.$$

$$MN = \frac{432,39 \cdot 0,997351}{0,687823} = 626,97 \text{ м};$$

$$BN = \frac{626,97 \cdot 0,773988}{0,9973551} = 486,56 \text{ м}.$$

3-й треугольник:

$$\frac{BN}{\sin \beta_{8_{исп}}} = \frac{NP}{\sin \beta_{9_{исп}}} = \frac{BP}{\sin \beta_{7_{исп}}}.$$

$$NP = \frac{486,56 \cdot 0,861897}{0,8805469} = 476,25 \text{ м};$$

$$BP = \frac{476,25 \cdot 0,855033}{0,861897} = 472,46 \text{ м}.$$

4-й треугольник:

$$\frac{BP}{\sin \beta_{11_{исп}}} = \frac{PQ}{\sin \beta_{12_{исп}}} = \frac{BQ}{\sin \beta_{10_{исп}}}.$$

$$PQ = \frac{472,46 \cdot 0,937658}{0,838763} = 528,16 \text{ м};$$

$$BQ = \frac{528,16 \cdot 0,802071}{0,937658} = 451,78 \text{ м}.$$

5-й треугольник:

$$\frac{BQ}{\sin \beta_{14_{исп}}} = \frac{QA}{\sin \beta_{15_{исп}}} = \frac{AB}{\sin \beta_{13_{исп}}}.$$

$$QA = \frac{451,78 \cdot 0,892629}{0,915239} = 440,62 \text{ м};$$

$$AB = \frac{440,62 \cdot 0,772232}{0,892630} = 381,19 \text{ м}.$$

Вычисление относительной погрешности:

$$AB_{\text{кон}} = 381,19 \text{ м}; \quad \Delta D_{AB} = 381,21 - 381,19 = 0,02 \text{ м};$$

$$AB_{\text{нач}} = 381,21 \text{ м}; \quad \frac{\Delta D_{AB}}{(D_{\text{ср}})_{AB}} = \frac{1}{(D_{\text{ср}})_{AB} / \Delta D_{AB}} = \frac{1}{381,20 / 0,02} = \frac{1}{19060}.$$

$$AB_{\text{ср}} = 381,20 \text{ м};$$

В дальнейших вычислениях $d_{A-B} = 381,20 \text{ м}$.

4. Вычисление координат точек опорной разбивочной сети. Для этого записывают в ведомость координат исправленные горизонтальные углы $\beta_{\text{исп}}$ в следующем порядке:

а)

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 53^\circ 16' 08''; \\ \beta_2 + \beta_4 &= 44^\circ 57' 27'' + 50^\circ 42' 48'' = 95^\circ 40' 15''; \\ \beta_5 + \beta_7 &= 43^\circ 27' 29'' + 58^\circ 45' 39'' = 102^\circ 13' 08''; \\ \beta_8 + \beta_{10} &= 61^\circ 42' 32'' + 53^\circ 19' 42'' = 115^\circ 02' 14''; \\ \beta_{11} + \beta_{13} &= 57^\circ 00' 35'' + 50^\circ 33' 17'' = 107^\circ 33' 52''; \\ \beta_2 &= 66^\circ 14' 23''.\end{aligned}$$

Замкнутый триангуляционный ход начинается с пункта A , который не имеет координат. Для их получения решается прямая геодезическая задача:

$$X_A = X_B + \Delta X_{\text{испр. } B-A};$$

$$Y_A = Y_B + \Delta Y_{\text{испр. } B-A};$$

б) вычисляют дирекционные углы по формуле

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180^\circ - \beta_{\text{правый}}.$$

Записывают их в ведомость координат ([табл. 19](#)).

$\begin{aligned}\alpha_{B-A} &= 307^\circ 30' 00'' \\ &+ \underline{180^\circ 00' 00''} \\ &\Sigma 487^\circ 30' 00'' \\ &- \underline{53^\circ 16' 08''} \\ &434^\circ 13' 52'' \\ &- \underline{360^\circ 00' 00''} \\ \alpha_{A-M} &= 74^\circ 13' 52'' \\ &+ \underline{180^\circ 00' 00''} \\ &\Sigma 254^\circ 13' 52'' \\ &95^\circ 40' 15'' \\ \alpha_{A-N} &= 158^\circ 33' 37'' \\ &+ \underline{180^\circ 00' 00''} \\ &\Sigma 338^\circ 33' 37'' \\ &- \underline{102^\circ 13' 08''} \\ \alpha_{N-P} &= 236^\circ 20' 29'' \\ &+ \underline{180^\circ 00' 00''} \\ &\Sigma 416^\circ 20' 29'' \\ &- \underline{115^\circ 02' 14''} \\ \alpha_{P-Q} &= 301^\circ 18' 15''\end{aligned}$	$\begin{aligned}\alpha_{P-Q} &= 301^\circ 18' 15'' \\ &+ \underline{180^\circ 00' 00''} \\ &481^\circ 18' 15'' \\ &- \underline{107^\circ 33' 52''} \\ &373^\circ 44' 23'' \\ &- \underline{360^\circ 00' 00''} \\ \alpha_{Q-A} &= 13^\circ 44' 23'' \\ &+ \underline{180^\circ 00' 00''} \\ &193^\circ 44' 23'' \\ &- \underline{66^\circ 14' 23''} \\ \alpha_{A-B} &= 127^\circ 30' 00'';\end{aligned}$
---	---

в) вычисляют румбы, используя зависимость дирекционных углов и румбов;

г) в графу «Меры линий» ([табл. 19](#)) выписываем горизонтальные проложения d .

Ведомость вычисления координат

Наименование точек теодолитного хода	Измеренные углы, °, '	Исправленный, °, '	Дирекционный угол, α, °, '	Румбы		Меры линий d, м	Приращения				Координаты		Номер точки	
				Название	Размер, °, '		вычисленные		исправленные		X	Y		
							$\Delta X = d \cos \alpha$	$\Delta Y = d \sin \alpha$	$\Delta X_{\text{исп}} = \Delta X + v_i$	$\Delta Y_{\text{исп}} = \Delta Y + v_i$				
B	—													
			307°30'00"	СЗ :	52°30'00"	381,20	232,06	-302,43	232,06	-302,43	2500,75	4500,75	B	
A	β ₁	53°16'08"	74°13'52"	СВ :	74°13'52"	533,96	145,11	513,86	145,11	513,86	2732,81	4198,32	A	
M	β ₂ + β ₄	95°40'15"	158°33'37"	ЮВ :	21°26'23"	626,97	+0,01 -583,58	229,17	-583,58	229,17	2877,92	4712,18	M	
N	β ₅ + β ₇	102°13'08"	236°20'29"	ЮЗ :	56°20'29"	476,25	-263,96	-396,41	-263,96	-396,41	2294,34	4941,35	N	
P	β ₈ + β ₁₀	115°02'14"	301°18'15"	СЗ :	58°41'45"	528,16	274,42	-451,27	274,42	-451,27	2030,38	4544,94	P	
Q	β ₁₁ + β ₁₃	107°33'52"	13°44'23"	СЗ :	13°44'23"	440,62	428,01	104,65	428,01	104,65	2304,80	4093,67	Q	
A	β ₁₄	66°14'23"	127°30'00"	ЮВ :	52°30'00"	381,20	-232,06	302,43	-282,06	302,43	2732,81	4998,32	A	
B	—	—									2500,75	4500,75	B	
						$\sum d = P = 2605,96$	$\sum \Delta X_T = 0$	$\sum \Delta Y_T = 0$						
							$\sum \Delta X = -0,01$	$\sum \Delta Y = 0$	$\sum \Delta X = 0$	$\sum \Delta Y = 0$				

$$f_s = \sqrt{f \Delta X^2 + f \Delta Y^2};$$

$$\frac{f_s}{P} = \frac{1}{P / f_s};$$

$$v_{\Delta X} = \frac{f_{\Delta X}}{P} d_i;$$

$$v_{\Delta Y} = \frac{f_{\Delta Y}}{P} d_i.$$

Затем вычисляют приращения координат ΔX ΔY по формулам:

$$\Delta X = d \cos \alpha;$$

$$\Delta Y = d \sin \alpha.$$

Сумма приращений на оси координат замкнутого хода должна равняться нулю:

$$\Delta X = 0;$$

$$\Delta Y = 0.$$

Если сумма приращений на оси координат не равна нулю, то необходимо ввести поправки в приращения координат.

Вычисляют координаты точек:

$$X_A = X_B + \Delta X = 2500,75 + 232,07 = 2732,82;$$

$$Y_A = Y_B + \Delta Y = 4500,25 - 302,65 = 4197,60;$$

$$X_M = X_A + \Delta X = 2732,82 + 145,11 = 2877,93;$$

$$Y_M = Y_A + \Delta Y = 4197,60 + 513,80 = 4711,40;$$

$$X_N = X_M + \Delta X = 2877,93 - 583,58 = 2294,35;$$

$$Y_N = Y_M + \Delta Y = 4711,46 + 229,17 = 4940,63;$$

$$X_P = X_N + \Delta X = 2294,35 - 263,96 = 2030,39;$$

$$Y_P = Y_N + \Delta Y = 4940,63 - 396,41 = 4544,22;$$

$$X_Q = X_P + \Delta X = 2030,39 + 274,42 = 2304,81;$$

$$Y_Q = Y_P + \Delta Y = 4544,22 - 451,27 = 4092,95;$$

$$X_A = X_Q + \Delta X = 2304,81 + 428,01 = 2732,82;$$

$$Y_A = Y_Q + \Delta Y = 4092,95 + 104,65 = 4197,60.$$

5. Строят план опорной разбивочной сети ([рис. 88](#)). М 1 : 4000. Определяют количество квадратов сетки по оси X и Y :

$$\text{по оси } X n_x = (X_{\max} - X_{\min}) / 200 = 2877,93 - 2030,39 / 200 = 5;$$

$$\text{по оси } Y n_y = (Y_{\max} - Y_{\min}) / 200 = 4940,63 - 4092,95 / 200 = 5.$$

Вычерчивают сетку квадратов со стороной квадрата 5 см в масштабе 1 : 4000.

Выходы километровой сетки по X и Y подписывают в соответствии с заданным масштабом и полученными координатами. Расписывают приращения координат по осям с учетом делений линейки поперечного масштаба $a = 80$, $b = 8$, $c = 0,8$.

При помощи линейки поперечного масштаба накладывают координаты точек на план:

$$X_A = 2500,75 - 2400 = 100,75 = 1a + 2b + 2c;$$

$$Y_A = 4500,25 - 4400 = 100,25 = 1a + 2b + 5c + 0,25;$$

$$X_B = 2732,82 - 2600 = 132,82 = 1a + 6b + 6c + 0,02;$$

$$Y_B = 4197,60 - 4000 = 197,60 = 2a + 4b + 7c;$$

$$X_M = 2877,93 - 2800 = 77,93 = 0a + 9b + 7c + 3,93;$$

$$Y_M = 4711,46 - 4600 = 111,46 = 1a + 3b + 9c + 0,26;$$

$$\begin{aligned}
X_N &= 2294,35 - 2200 = 94,35 = 1a + 1b + 0,75; \\
Y_N &= 4940,63 - 4800 = 140,63 = 1a + 7b + 5c + 0,63; \\
X_P &= 2030,39 - 2000 = 30,39 = 3b + 8c; \\
Y_P &= 4544,22 - 4400 = 144,22 = 1a + 8b + 0,22; \\
X_Q &= 2304,81 - 2200 = 104,81 = 1a + 3b + 1c + 0,01; \\
Y_Q &= 4092,95 - 4000 = 92,95 = 1a + 1b + 6c + 0,15.
\end{aligned}$$

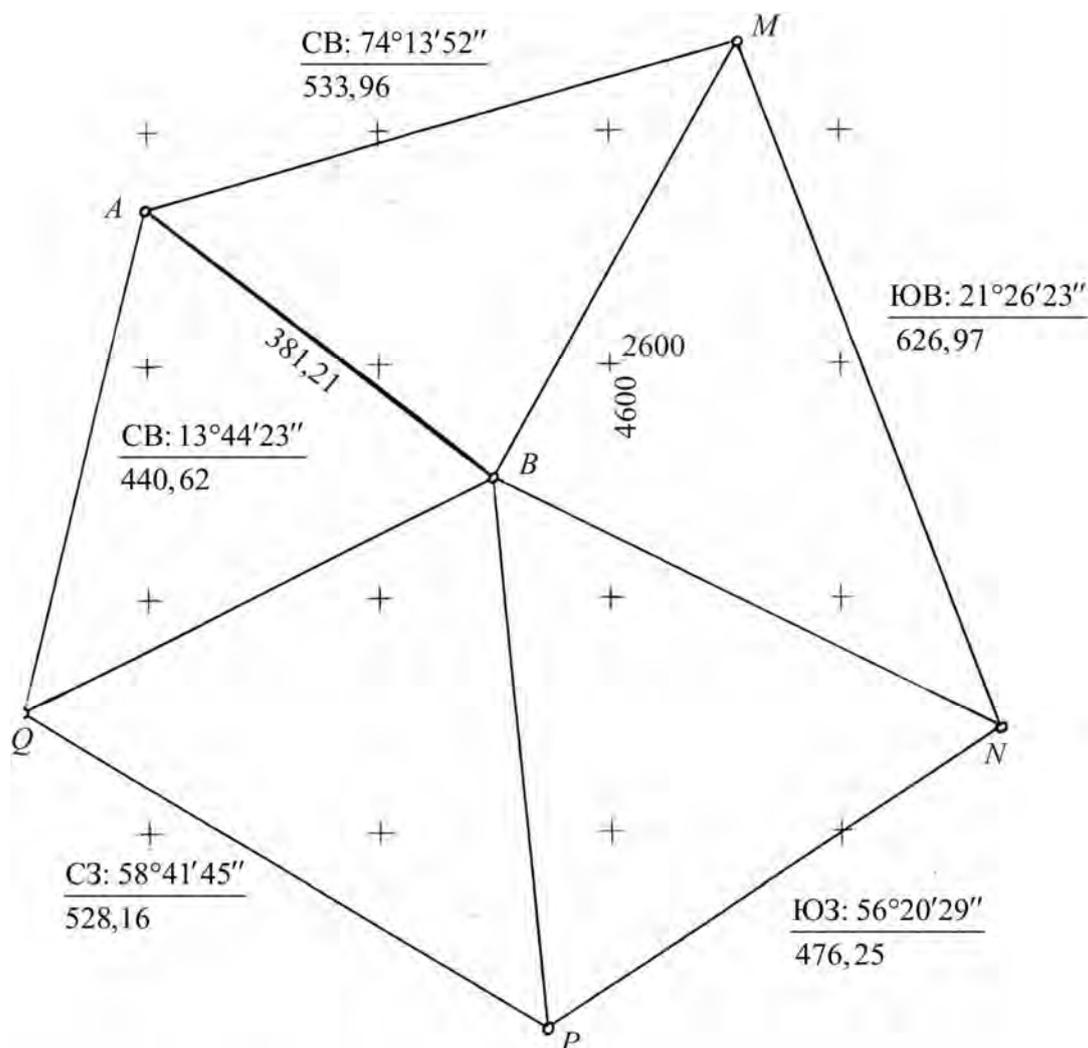


Рис. 88. План разбивочной сети, созданной методом триангуляции

III.13. Изучение устройства высокоточного нивелира НА-1. Измерение превышений и определение расстояний по нитяному дальномеру

Необходимо изучить устройство нивелира НА-1, измерить превышения на станции и определять расстояния от нивелира до реек по нитяному дальномеру.

Нивелир НА-1 используют при геометрическом нивелировании первого и второго класса точности для разбивки высотной сети. Устройство прибора приведено на [рис. 89](#), поле зрения нивелира — на [рис. 90](#).

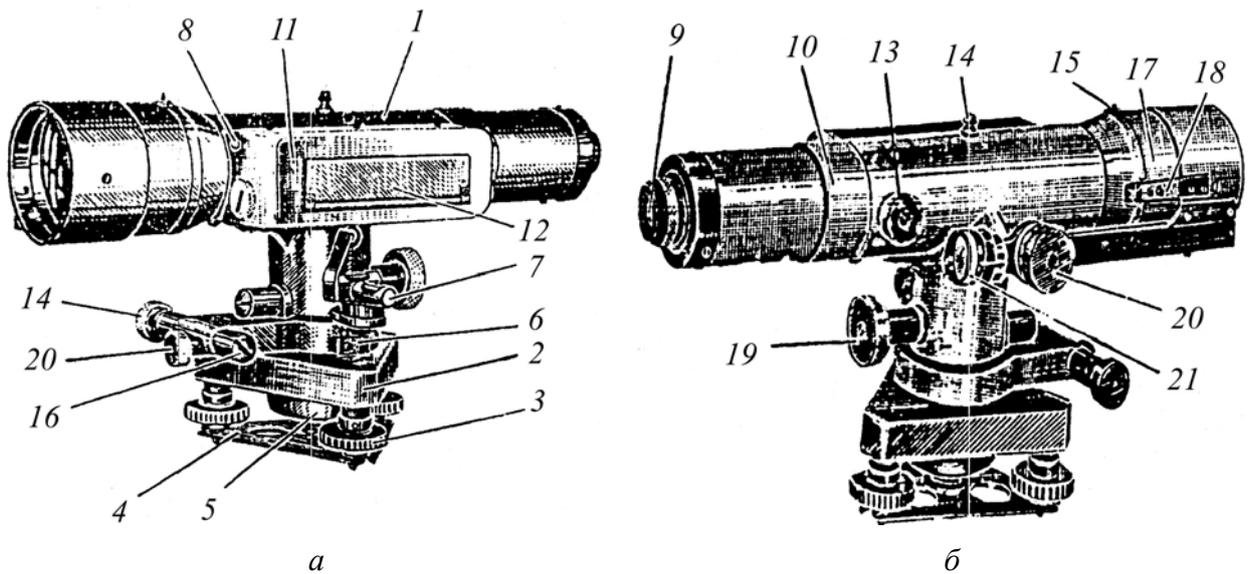


Рис. 89. Схема высокоточного нивелира НА-1: *а* — вид слева; *б* — вид справа: 1 — зрительная труба; 2 — трегер-подставка; 3 — подъемные винты (3 шт); 4 — плоская пружинистая пластина; 5 — втулка с резьбой; 6 — вертикальная ось вращения; 7 — крестообразный цилиндрический уровень; 8 — винт для закрепления коробки цилиндрического уровня; 9 — окуляр зрительной трубы; 10 — объективное колено зрительной трубы; 11 — цилиндрический уровень; 12 — зеркало подсветки; 13 — фокусирующий винт (винт кремальеры); 14 — наводящий винт зрительной трубы (прицел); 15 — мушка; 16 — закрепительный винт зрительной трубы; 17, 18 — плоскопараллельная пластина, закрепленная на объективной части трубы; 19 — элевационный винт; 20 — отсчетный барабан; 21 — лупа

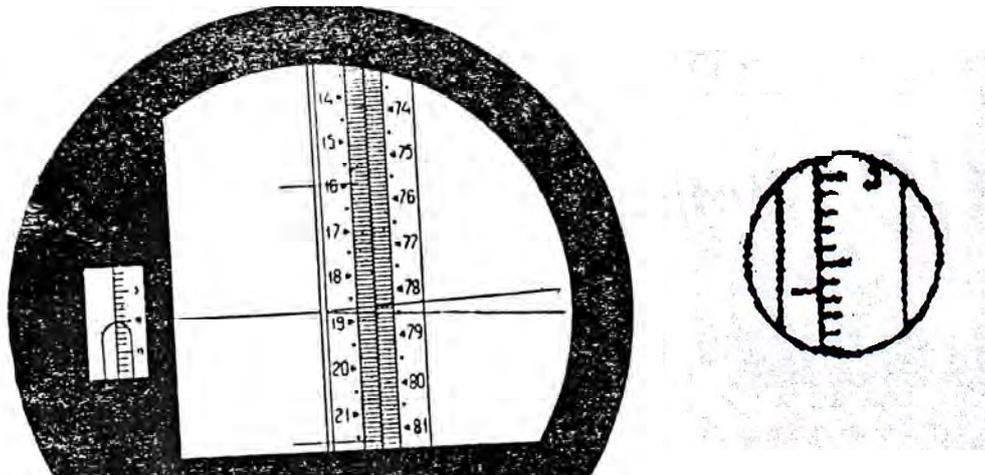


Рис. 90. Рейка в поле зрения нивелира

Технические характеристики нивелира НА-1:

1. Зрительная труба:

- изображение обратное;
- увеличение 41,8×;
- поле зрения трубы при бесконечности: по вертикали — 60', по горизонтали — 40';
- световой диаметр объектива — 55 мм;
- увеличение окуляра — 25,5×;
- разрешающая способность трубы с плоскопараллельной пластинкой — 3";
- диаметр выходного зрачка — 1,3 мм;
- удаление выходного зрачка — 6 мм;

- коэффициент дальномера — 100;
 наименьшее расстояние визирования — 3,5 м;
 увеличение лупы отсчетного барабана — 4×;
 цена деления отсчетного барабана — 0,05 мм.
2. Цена деления уровней:
 крестообразного — 4' (на 2 мм);
 цилиндрического — 4" (на 0,8 мм).
3. Габаритные размеры:
 длина трубы с плоскопараллельной пластиной — 400 мм;
 высота зрительной трубы — 200 мм;
 размер ящика 450 × 250 × 180 (мм);
 высота штатива — 1490 мм.
4. Вес нивелира — 5,8 кг.
 5. Вес ящика — 5,3 кг.
 6. Вес штатива — 4,8 кг.
 7. Схема расположения осей приведена на рис. 91.

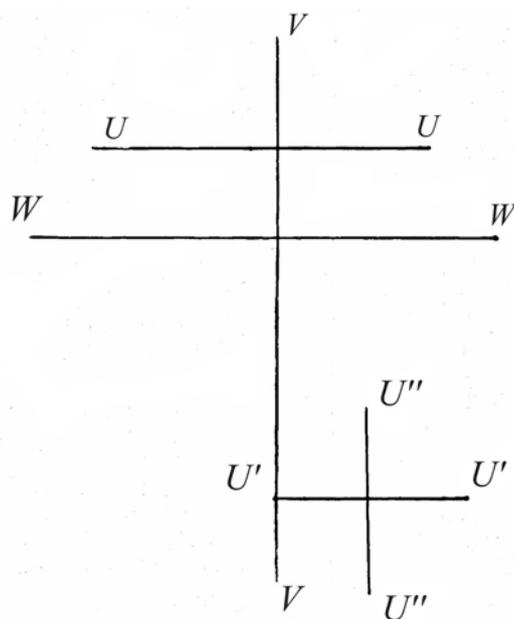


Рис. 91. Схема осей высокоточного нивелира НА-1: VV — вертикальная ось вращения прибора; WW — визирная ось зрительной трубы; UU — ось цилиндрического уровня при зрительной трубе; $U'U'—U''U''$ — ось крестообразного уровня

Условия, предъявляемые к осям высокоточного нивелира НА-1:

- 1) ось крестообразного уровня должна быть перпендикулярна к оси прибора ($U'U' \perp VV$);
- 2) ось цилиндрического уровня при зрительной трубе должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы ($UU \parallel WW$);
- 3) вертикальная нить сетки нитей должна быть параллельна вертикальной оси прибора.

При высокоточном нивелировании заполняется журнал (пример приведен в [табл. 20](#)).

Журнал высокоточного нивелирования

Дата _____ Погода _____
Начало _____ Конец _____

Номера штативов Номера реек	Зарисовка привязок	Отсчеты по дальномерным нитям		Отсчет по биссектору нитей			
		Основная шкала	Дополнительная шкала				
задняя		Р	Б	Р	Б	Р	Б
		13,8	104	15,3	88	74,6	36
		16,8	64	21,2	85	80,5	28
		-3,0	40	-5,9	3	-5,9	8
	$D_{зад}$	-2,960		-5,897		-5,892	
		14,8			-5,894		
передняя		19,7	52			$h_{cp} = -0,2947$	
		22,8	14				
		-3,1	38				
	$D_{пер}$	-3,062					
		15,31					

$$D_{зад} - 2,960 \cdot 100 = 296,00 : 20 = 14,8 \text{ м.}$$

$$D_{пер} - 3,062 \cdot 100 = 306,200 : 20 = 15,31 \text{ м.}$$

$$h_{cp} = -0,2947$$

Проверил: _____

III.14. Высотная разбивочная сеть

Необходимо выполнить уравнивание превышений между пунктами созданной высотной разбивочной сети, вычислить отметки рабочих реперов ($Rp1$, $Rp2$, $Rp3$) (рис. 92), привязанных к реперам государственной опорной высотной геодезической сети (ГОВС).

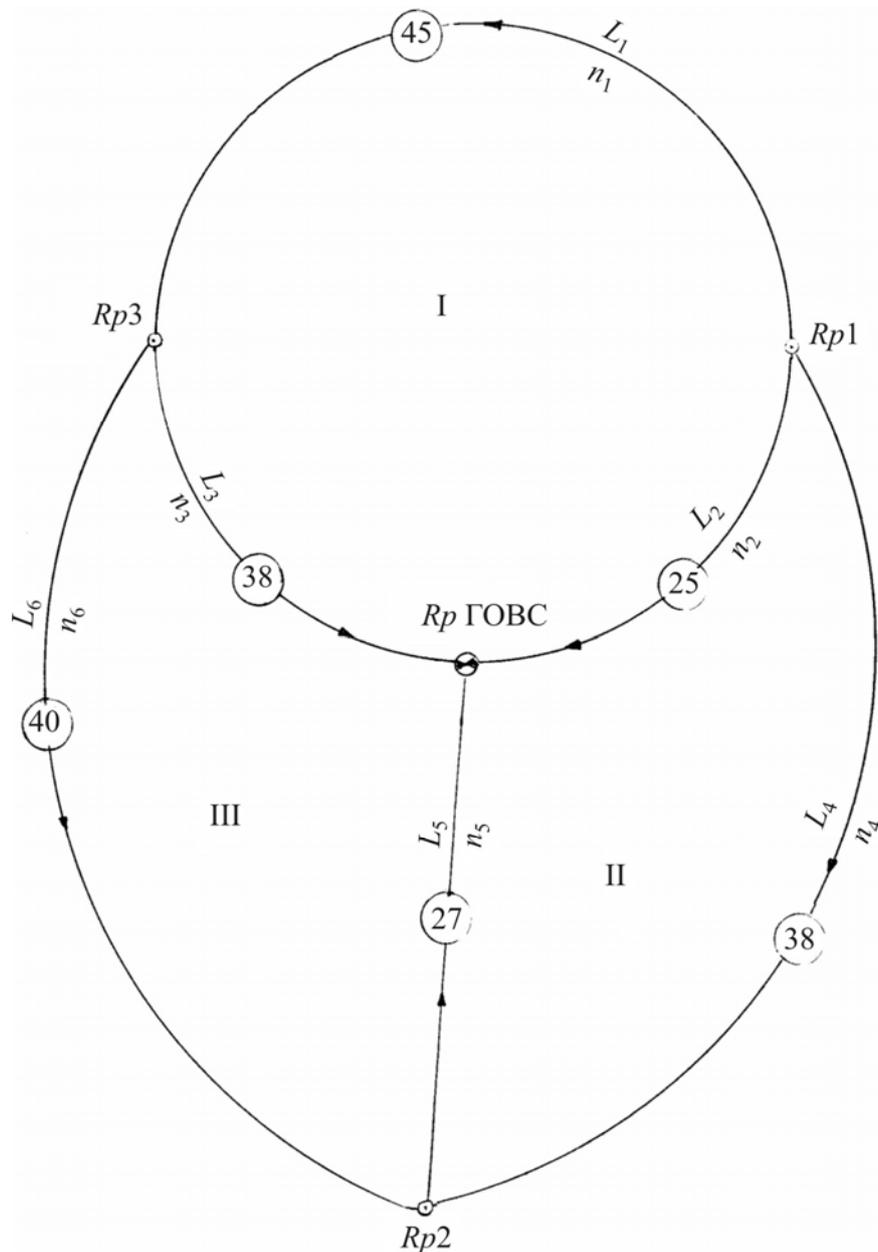


Рис. 92. Схема нивелирных ходов

На схеме ходы образуют 3 замкнутых полигона (I, II, III). $Rp1$, $Rp2$, $Rp3$ — связующие репера. Ходы в полигонах между связующими реперами образуют звенья, длиной L в км.

В полигоне I три звена длиной L_1 , L_2 , L_3 в каждом звене подписывается количество станций (n_1 , n_2 , n_3).

Стрелками показаны направление проложенных ходов, имеющих положительный знак превышения h_1 , h_2 , h_3 .

Исходные данные приведены в табл. 21.

Таблица 21

Исходные данные

Номер полигона	Направления ходов	Длина звена L , км	Количество штативов n , шт.	Суммарное превышение h в звене, м	Отметка R_p ГОВГС, м
I	$Rp1—Rp$ ГОВГС	3,3	25	18,319	205,205
	$Rp3—Rp$ ГОВГС	4,9	36	5,546	
	$Rp1—Rp3$	7,8	45	12,765	
II	$Rp1—Rp2$	4,8	38	14,279	205,205
	$Rp2—Rp$ ГОВГС	2,7	27	4,075	
	$Rp1—Rp$ ГОВГС	3,3	25	18,319	
III	$Rp3—Rp$ ГОВГС	4,9	36	5,546	205,205
	$Rp2—Rp$ ГОВГС	2,7	27	4,075	
	$Rp3—Rp2$	6,8	40	1,490	

Пример выполнения работы:

1. Вычислить сумму длин линий в полигонах:

$$I = L_1 + L_2 + L_3 = 7,8 + 3,5 + 4,9 = 16 \text{ км};$$

$$II = L_2 + L_4 + L_5 = 3,3 + 4,8 + 2,7 = 10,8 \text{ км};$$

$$III = L_5 + L_6 + L_3 = 2,7 + 6,8 + 4,9 = 14,4 \text{ км}.$$

2. Вычислить общее число станций (штативов) при нивелировании в каждом полигоне:

$$\sum n_I = n_1 + n_2 + n_3 = 45 + 25 + 36 = 106;$$

$$\sum n_{II} = n_2 + n_4 + n_5 = 25 + 38 + 27 = 90;$$

$$\sum n_{III} = n_5 + n_6 + n_3 = 27 + 40 + 36 = 103.$$

3. Вычислить суммарное превышение в каждом полигоне по ходу часовой стрелки:

$$\sum h_I = h_1 + h_2 + h_3 = -12,765 + 18,319 - 5,546 = +0,008 \text{ м};$$

$$\sum h_{II} = h_2 + h_4 + h_5 = 14,279 + 4,075 + 18,319 = +0,035 \text{ м};$$

$$\sum h_{III} = h_5 + h_6 + h_3 = 5,546 - 4,075 - 1,490 = -0,019 \text{ м}.$$

4. Вычислить невязку в каждом полигоне:

$$f_h = \sum h^{\text{выч}} - \sum h^{\text{теор}}.$$

Поскольку $\sum h^{\text{теор}} = 0,000$, то

$$f_{hI} = \sum h_I = 0,008 \text{ м} = +8 \text{ мм};$$

$$f_{hII} = \sum h_{II} = 0,035 \text{ м} = +35 \text{ мм};$$

$$f_{hIII} = \sum h_{III} = -0,019 \text{ м} = -19 \text{ мм};$$

$$f_{\text{нобщ}} = f_{hI} + f_{hII} + f_{hIII} = 8 \text{ мм} + 35 \text{ мм} + (-19) \text{ мм} = 24 \text{ мм}.$$

Сравнить полученные невязки с допустимыми:

$$f_{h\text{доп}} = \pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}, \text{ км, (при нивелировании II класса точности).}$$

В примере все полученные невязки допустимы. Нужно выполнить совместное уравнивание превышений во всех трех полигонах.

В полигонах I и II невязки имеют одинаковые знаки, а в полигонах II и III знаки невязок оказались разными. В последнем случае при введении поправок не смежный для них ход ($Rp2—Rp3$) мы уменьшаем невязку сразу в обоих полигонах. В первом случае поправки на смежную сторону $Rp1—Rp$ ГОВГС в одном полигоне уменьшается, а в другом увеличивается. Возникают затруднения при распределении невязок в нивелирной сети, состоящей из нескольких полигонов. Для устранения этих затруднений профессор В. В. Попов для уравнивания предложил простой и в тоже время строгий способ уравнивания — способ полигонов или «метод красных чисел».

Сущность этого способа:

1. Длины отдельных звеньев, выраженных числом станций n выписываются в окружностях, расположенных на ходах.

2. Вычерчиваются на схеме около каждого наружного звена $Rp1—Rp2$, $Rp2—Rp3$, $Rp3—Rp1$ вне полигона по одной табличке для поправок, для внутренних звеньев $Rp1—Rp$ ГОВГС, $Rp2—Rp$ ГОВГС, $Rp3—Rp$ ГОВГС — по две таких таблички по разным сторонам звена.

3. Вычисляется с точностью до сотых долей соотношение длин этих звеньев $Rp3—Rp1$, $Rp1—Rp$ ГОВГС, Rp ГОВГС— $Rp3$ к общему периметру полигона I.

Для звена $Rp3—Rp1$, имеющего 45 станций, получается $45 : (45 + 25 + 36) = 0,43$.

Для звена $Rp1—Rp$ ГОВГС, имеющую 25 станций, получается $25 : (45 + 25 + 36) = 0,23$.

Для звена Rp ГОВГС— $Rp3$, имеющего 36 станций, получается $36 : (45 + 25 + 36) = 0,34$.

Сумма полученных чисел для каждого полигона должна равняться единице: $0,43 + 0,23 + 0,34 = 1$. Полученное значение выписывают вне полигона над соответствующими рамочками красным цветом и называют эти значения красными числами. *Красное число* — это величина, определяющая вероятную долю невязки в звене от общей невязки полигона, вычисляемая как отношение количества штативов (станций) в звене n к количеству штативов (станций) в полигоне $\sum n_{\text{полиг}}$:

$$K_i^{\text{полиг}} = \frac{n}{\sum n_{\text{полиг}}}$$

Пример:

В полигоне II:

$$\text{для звена } Rp \text{ ГОВГС—} Rp1 \quad K = \frac{25}{90} = 0,28;$$

$$Rp1—Rp2 \quad K = \frac{38}{90} = 0,42;$$

$$Rp2—Rp \text{ ГОВГС} \quad K = \frac{27}{90} = 0,30.$$

Контроль: $\sum K = 0,28 + 0,42 + 0,30 = 1$.

В полигоне III:

$$\text{для звена } Rp3—Rp \text{ ГОВГС} \quad K = \frac{36}{103} = 0,35;$$

$$Rp2—Rp \text{ ГОВГС} \quad K = \frac{27}{103} = 0,27;$$

$$Rp2—Rp3 \quad K = \frac{40}{103} = 0,38.$$

Контроль: $\sum K = 0,35 + 0,27 + 0,38 = 1$.

4. Распределяются невязки полигонов на отдельные звенья, пропорционально красным числам. Начинать распределение невязок можно с любого полигона, но для ускорения процесса уравнивания целесообразно начать с полигона с наибольшей невязкой. В приведенном примере это полигон II с невязкой $f_n = (+35)$ мм. Она последовательно умножается на все числа полигона: 0,28; 0,42; 0,30; округленные до целых миллиметров результаты выписываются в соответствующие рамки, лежащие вне полигона со знаками, соответствующими знаку невязки.

Для звена Rp ГОВГС— $Rp1$: $(+35) \cdot 0,28 = (+10)$ мм.

Для звена $Rp1—Rp2$: $(+35) \cdot 0,42 = (+15)$ мм.

Для звена $Rp2—Rp$ ГОВГС: $(+35) \cdot 0,30 = (+10)$ мм.

Их сумма должна равняться невязке полигона $f_n = +35$ мм.

Итак, невязка полигона II распределена: часть ее удалена на внешнее звено (+15 мм), часть — на следующее звено в полигон I (+10 мм), а часть — на связующее звено в полигон III (+10 мм).

5. Далее переходят к полигону III. В нем ход Rp ГОВГС— $Rp2$ получил поправку (+10), поэтому невязка этого полигона (−19) изменяется на (+10).

Остаточная невязка (−9) этого полигона вписывается в рамку под числом (−19), которое подчеркивается. Новая невязка полигона III (−9) умножается на красные числа полигона III: 0,27; 0,38 и 0,35, после чего результаты вписываются в соответствующие рамки, лежащие вне полигона.

Для звена $Rp2—Rp3$: $(-9) \cdot 0,35 = -3$ мм.

Для звена $Rp3—Rp$ ГОВГС: $(-9) \cdot 0,27 = -3$ мм.

Для звена Rp ГОВГС— $Rp2$: $(-9) \cdot 0,38 = -3$ мм.

Контроль: сумма этого числа равна невязке (−9).

6. Далее переходят к полигону I, в нем связующие звенья $Rp3—Rp$ ГОВГС и Rp ГОВГС— $Rp1$. Получают поправки (−3) и (+10), поэтому невязка полигона I, увеличенная на (+7), станет равной $8 + 10 - 3 = (+15)$ мм. Вписывают в рамку этого полигона под числом (+8). Новую невязку полигона I умножают на все красные числа полигона I: 0,43; 0,23 и 0,34.

Для звена $Rp3—Rp1$: $(+15) \cdot 0,43 = 6,45 \approx +6$ мм.

Для звена $Rp1—Rp$ ГОВГС: $(+15) \cdot 0,23 = +3,45 \approx +4$ мм.

Для звена Rp ГОВГС— $Rp3$: $(+15) \cdot 0,34 = 5,10 \approx +5$ мм.

Контроль: сумма равна (+15) мм.

После этого один круг уравнивания завершился, но поправки, пришедшие в полигоны, еще не обеспечили полного уравнивания превышений.

7. Выполняют второй круг уравнивания, начиная с полигона II.

Связующие ходы: $Rp1—Rp$ ГОВГС и $Rp2—Rp$ ГОВГС.

Получают поправки (+4) и (–3) и увеличивают невязку полигона II на +1.

$f_{II}^{\text{Полигона}} = +1$ мм, умножают ее на красные числа второго полигона и округляют до целых мм:

$$1 \text{ мм} \cdot 0,28 \approx 0;$$

$$1 \text{ мм} \cdot 0,30 \approx 0;$$

$$1 \text{ мм} \cdot 0,42 \approx 1 \text{ мм}.$$

8. Переходят к полигону III. В нем на связующее звено $Rp3—Rp$ ГОВГС пришла поправка (+5); новая невязка будет равна $0 + 5 = (+5)$ мм. Ее умножают на красные числа полигона III: 0,27, 0,38, 0,35:

$$(+5 \text{ мм}) \cdot 0,27 = (+1,35) \approx (+1) \text{ мм};$$

$$(+5 \text{ мм}) \cdot 0,38 = (+1,90) \approx (+2) \text{ мм};$$

$$(+5 \text{ мм}) \cdot 0,35 = (+1,75) \approx (+2) \text{ мм};$$

$$\Sigma = (+5) \text{ мм}.$$

9. В полигоне I невязка станет равной $(+1) + 0 = (+1)$ мм.

Ее после умножения на красные числа полигона I выносят на внешнее звено:

$$(+1) \cdot 0,43 \approx (+1) \text{ мм};$$

$$(+1) \cdot 0,23 = 0,23 \approx 0;$$

$$(+1) \cdot 0,34 = 0,34 \approx 0.$$

10. В полигоне II невязка становится равной $0 + (2) = (+2)$ мм. Полученную невязку умножают на красные числа полигона II: 0,42; 0,28 и 0,30:

$$2 \text{ мм} \cdot 0,42 = 0,84 \approx (+1) \text{ мм};$$

$$2 \text{ мм} \cdot 0,28 = 0,56 \approx 0;$$

$$2 \text{ мм} \cdot 0,30 = 0,60 \approx (+1) \text{ мм}.$$

11. Поправка (+1) на связующем звене $Rp2—Rp$ ГОВГС изменит невязку полигона III на (+1) мм и станет равной не 0, а (+1) мм. Так как ход $Rp2—Rp$ ГОВГС имеет больше красное число 0,38, то он получит округленную поправку (+1), которая изменит невязку полигона II $f_{II} = +1$ мм. При умножении невязки на красные числа второго полигона с округлением до целого числа мм внешний ход полигона II ($Rp1—Rp2$) получит поправку (+1) мм. Поправок в остальные полигоны не будет (они равны 0).

12. Под каждым красным числом в табличке вычисляют суммы поправок. Наружные ходы в полигонах получили поправки:

$$Rp3—Rp1 = (+7) \text{ мм};$$

$$Rp1—Rp2 = (+18) \text{ мм};$$

$$Rp2—Rp3 = 0.$$

13. Связующие звенья в полигонах имеют по две поправки: снаружи полигона и внутри полигона: $Rp1—Rp$ ГОВГС = (+10 мм); Rp ГОВГС— $Rp1 = (+4)$ мм. Общая поправка на это звено вычисляется как разность поправок, пришедших на это звено из разных полигонов: $Rp1—Rp$ ГОВГС = $(+10) - (+4) = (+6)$ мм; Rp ГОВГС— $Rp1 = (+4) - (+10) = (-6)$ мм.

Так вычисляют общие поправки на связующие звенья всех полигонов:

$$Rp \text{ ГОВГС} - Rp2 = (+11) - 0 = (+11) \text{ мм};$$

$$Rp2 - Rp \text{ ГОВГС} = 0 - (+11) = (-11) \text{ мм};$$

$$Rp3 - Rp \text{ ГОВГС} = (+5) - (-2) = (+7) \text{ мм};$$

$$Rp \text{ ГОВГС} - Rp3 = (-2) - (+5) = (-7) \text{ мм}.$$

Поправки, полученные при уравнивании, выписывают внутри полигонов в круглых скобках рядом с количеством штативов (станций).

Сумма поправок внутри полигона должна быть равной невязке этого полигона с обратным знаком (рис. 93).

Полигон I Rp ГОВГС:

v	
-7 мм	
$Rp3$	
-7 мм	
$Rp1$	
+6 мм	
Rp ГОВГС	
<hr/>	
$\sum v = -8 = -f_h^I = +8.$	

Полигон II Rp ГОВГС:

v	
-6 мм	
$Rp1$	
-18 мм	
$Rp2$	
-11 мм	
Rp ГОВГС	
<hr/>	
$\sum v_{II} = f_{II} = -35.$	

Полигон III Rp ГОВГС

v	
+11 мм	
$Rp2$	
+1 мм	
$Rp3$	
+7 мм	
Rp ГОВГС	
<hr/>	
$\sum v_{III} = f_{III} = +19 \text{ мм}.$	

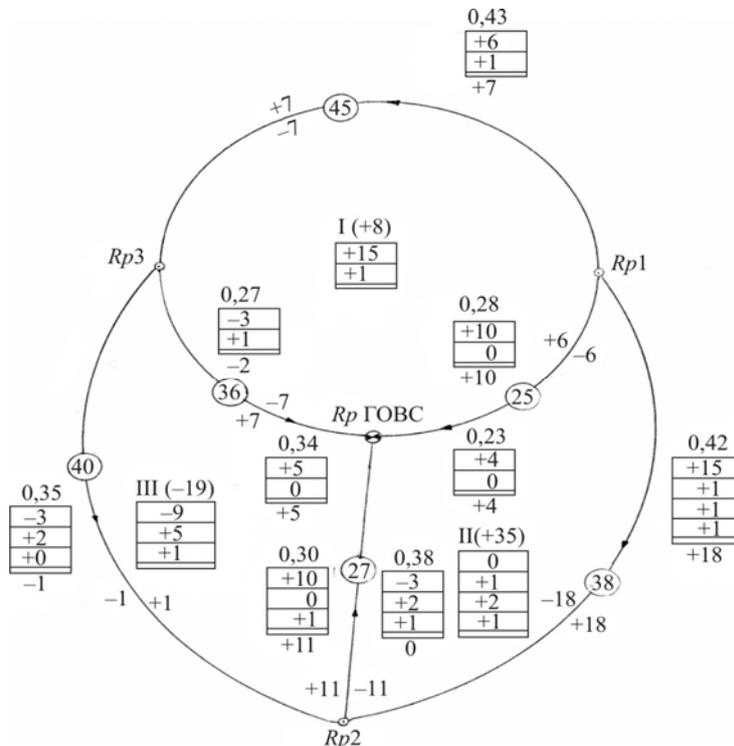


Рис. 93. Схема уравнивания превышений методом полигонов

14. Измеренные превышения исправляют по формуле $h_{\text{испр}} = h_{\text{изм}} + v_h$.

Затем вычисляют суммы исправленных превышений в каждом полигоне, так как полигоны замкнутые, то $\sum h_{\text{испр}}$ должна быть равна $\sum h_{\text{теор}} = 0$. После чего вычисляют отметки рабочих реперов $Rp1, Rp2, Rp3$ по заданной отметке репера Государственной опорной высотной геодезической сети:

$$H_{Rp}^{\text{раб}} = H_{\text{ГОВГС}} + h_{\text{исправл}}$$

Результаты расчетов заносят в ведомость вычисления отметок рабочих реперов (пример приведен в табл. 22).

Таблица 22

Ведомость вычисления отметок рабочих реперов

Номера полигонов	Название звеньев в полигонах	Измеренные превышения h , м	Поправки в превышения v_h	Уравненные превышения $h_{\text{уравн}}$	Высоты реперов
I	Rp ГОВГС				205,205
		-5,546	-0,007	-5,553	
	$Rp3$				199,652
		-12,765	-0,007	-12,772	
	$Rp1$				186,880
		+18,319	+0,006	+18,325	
II	Rp ГОВГС				205,205
	Rp ГОВГС				205,205
		-18,319	-0,006	-18,325	
	$Rp1$				186,880
		+14,279	-0,018	+14,261	
	$Rp2$				201,141
III		+4,075	-0,011	+4,064	
	Rp ГОВГС				205,205
	Rp ГОВГС				205,205
		-4,075	+0,011	-4,064	
	$Rp2$				201,141
		-1,490	+0,001	-1,489	
III	$Rp3$				199,652
		+5,546	+0,007	+5,553	
	Rp ГОВГС				205,205

III.15. Привязка трассы автодороги III категории к пунктам планово-высотной опорной сети методом полярных координат

Цель задания: рассчитать данные для выноса проекта автодороги с карты на местность, составить разбивочный чертеж.

Исходные данные:

1. Топографическая карта М 1 : 25000 (рис. 94).
2. Проект АД III технической категории (начало трассы, ВУ1, ВУ2, конец трассы).
3. Высота сечения рельефа $h = 5$ м.
4. Склонение магнитной стрелки $\delta_B = 2^\circ 07'$.
5. Сближение меридианов $\gamma_3 = 3^\circ$.
6. Координаты километровой сетки расположены на середине участка привязки. Это необходимо для получения координат всех точек с одинаковой точностью. В нашем случае

$$X_0 = 6\,667\,000 \text{ м}, \quad Y_0 = 311\,000 \text{ м}.$$

7. Выборы пунктов привязки:

$$\begin{aligned} H_A &= 135,5 \text{ м}; & H_M &= 150,0 \text{ м}; \\ H_B &= 158,9 \text{ м}; & H_N &= 160,6 \text{ м}. \end{aligned}$$

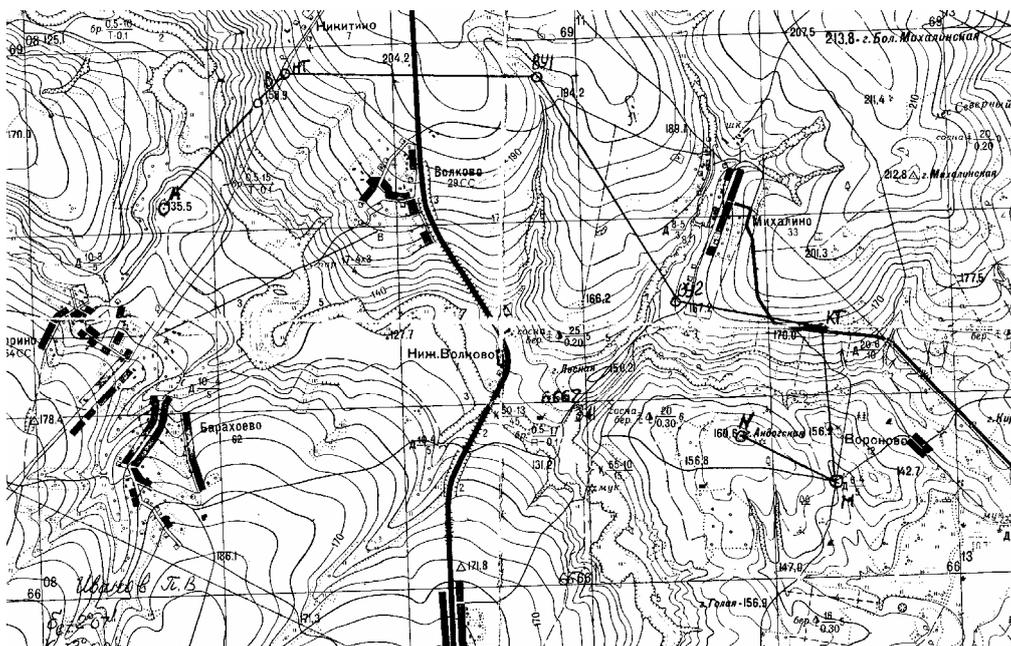


Рис. 94. Вариант привязки трассы автодороги к пунктам разбивочной сети

Последовательность выполнения работы.

1. Составляют схему привязки трассы АД к пунктам планово-высотной опорной сети (рис. 95).
2. Используя топокарту и подписанные абсциссы и ординаты километровой сетки, графически определяют координаты точек трассы (HT, ВУ1, ВУ2, КТ) и находящихся вблизи начала трассы HT и конца трассы КТ пунктов разбивочной сети (A, B, M, N).

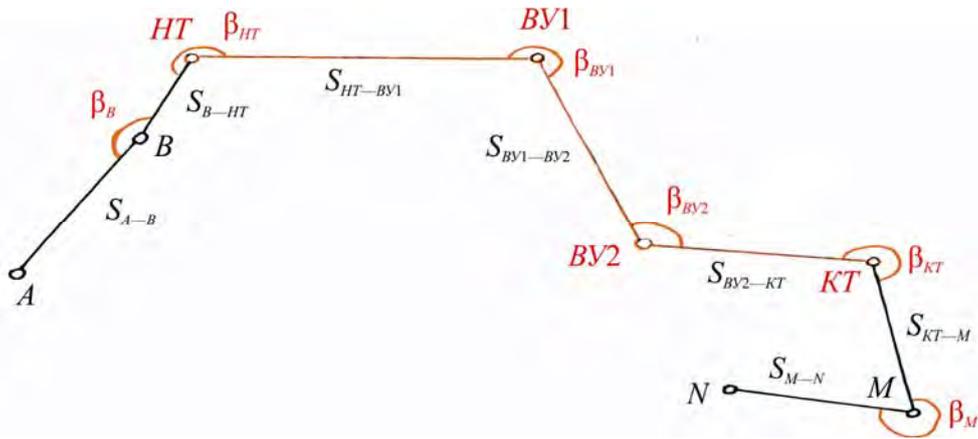


Рис. 95. Схема привязки трассы автодороги

Для уменьшения ошибок измерений, вызванных деформацией бумаги при ксерокопировании карты для выполнения работы, используют заданные преподавателем две взаимно перпендикулярные линии километровой сетки карты (оси X и Y), находящиеся внутри участка, на котором расположены точки A, B, HT, KT, M и N .

Относительно выбранных координатных осей километровой сетки измеряют величины ΔX_i и ΔY_i , мм.

Вычисляются ΔX_i и ΔY_i , м, которые будут принимать знаки «+», если точки расположены соответственно к северу и востоку от осей X и Y , и «-», если — к югу и западу:

$$\Delta X_i = \Delta X_{i \text{ мм}} m; \quad \Delta Y_i = \Delta Y_{i \text{ мм}} m,$$

где m — знаменатель масштаба карты.

Вычисляют координаты всех точек .

$$X_i = X_0 + \Delta X_i; \quad Y_i = Y_0 + \Delta Y_i.$$

$$X_0 = 6667000 \text{ м}; \quad Y_0 = 311000 \text{ м}.$$

Результаты заносят в ведомость (табл. 23).

Пример:

Таблица 23

Вычисленные координаты точек трассы и пунктов привязки

Номер точки	Приращение координат		Приращение координат		Координаты	
	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔX , м	ΔY , м	X , м	Y , м
A	+46	-90,8	1150	-2270	6668150	308730
B	+67,6	-68,8	1690	-1720	6668690	309280
HT	+73	-62	1825	-1550	6668825	309450
$BV1$	+71,4	-8,8	1785	-220	6668785	310780
$BV2$	+20,4	+20	510	500	6667510	311500
KT	+13,4	+52	335	1300	6667335	812300
M	-18,8	+53,2	-470	1330	6666530	312330
N	-8,8	+33	-220	825	6666780	311825

3. Используя координаты точек, вычисляем дирекционные углы и расстояния между этими точками, решая обратные геодезические задачи по полученным направлениям ($A-B, B-HT, HT-BV1, BV1-BV2, BV2-KT, KT-M, M-N$). Результаты решения заносятся в специальную таблицу (табл. 24).

Решение обратных геодезических задач по направлениям

Номер	Рабочие формулы	Направления линий						
		<i>A—B</i>	<i>B—HT</i>	<i>HT—BY1</i>	<i>BY1—BY2</i>	<i>BY2—KT</i>	<i>KT—M</i>	<i>M—N</i>
1	X_K	6668690	6668825	6668785	6667510	6667335	6666530	6666780
2	X_H	6668150	6668690	6668825	6668785	6667510	6667335	6666530
3	$\Delta X_{H-K} = X_K - X_H$	540	135	-40	-1275	-175	-805	250
4	Y_K	309280	309450	310780	311500	312300	312330	311825
5	Y_H	308730	309280	309450	310780	311500	312300	312330
6	$\Delta Y_{H-K} = Y_K - Y_H$	550	180	1330	720	800	30	-505
7	$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \operatorname{tgr}$	1,018518	0,794117647	33,25	0,564705882	4,571428571	0,03726708	2,02
8	$r = \operatorname{arctgr}$	CB: 45°31'32"	CB: 51°32'46,7"	ЮВ: 88°16'38,4"	ЮВ: 29°27'13,2"	ЮВ: 77°39'39,3"	ЮВ: 2°08'3,3"	СЗ: 3°39'44,3"
9	$S\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$	770,77	217,08	1330,60	1464,24	818,91	805,55	563,49
	$S = \frac{\Delta X}{\cos r} = \frac{\Delta Y}{\sin r}$	770,77	217,08	1330,60	1464,24	818,91	805,55	563,49
	S — графическое	775,00	220,00	1330,00	1460,00	820,00	805,00	565,00
10	α_{H-K}	45°31'32"	51°32'46,7"	91°43'21,6"	150°32'47"	102°20'21"	177°51'57"	296°20'16"

Определяют названия румбов всех направлений, используя знаки приращения координат.

Вычисляем дирекционные углы, используя зависимость между α и r (рис. 96):

$$\begin{aligned}\alpha_I &= r_I; \\ \alpha_{II} &= 180^\circ - r_{II}; \\ \alpha_{III} &= r_{III} + 180^\circ; \\ \alpha_{IV} &= 360^\circ - r_{IV}.\end{aligned}$$

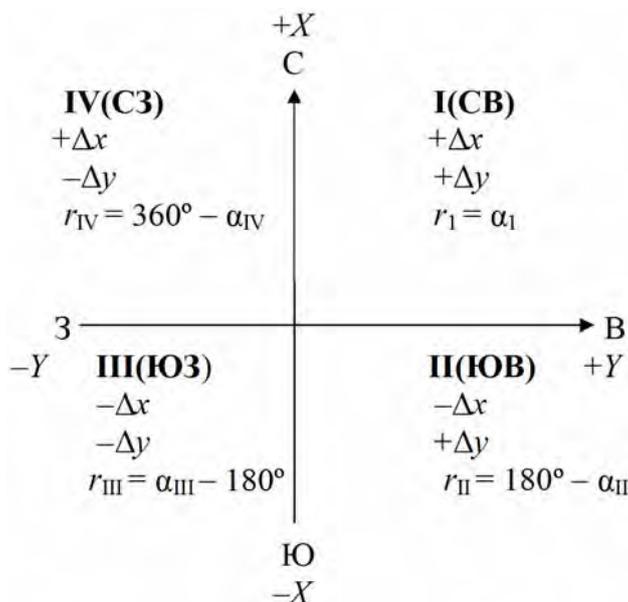


Рис. 96. Зависимость между дирекционными углами и румбами и знаками приращений координат

Выписывают прямые и обратные дирекционные углы направлений трассы $\alpha_{\text{прям}} = \alpha_{\text{обр}} \pm 180^\circ$ и вычисляют горизонтальные углы

$$\begin{aligned}\alpha_{A-B} &= 45^\circ 31' 32,3''; & \alpha_{B-A} &= 205^\circ 31' 32,3''; \\ \alpha_{B-HT} &= 51^\circ 32' 46,7''; & \alpha_{HT-B} &= 231^\circ 32' 46,7''; \\ \alpha_{HT} &= 91^\circ 43' 21,6''; & \alpha_{BV1-HT} &= 271^\circ 43' 21,6''; \\ \alpha_{BV1-BV2} &= 150^\circ 32' 46,8''; & \alpha_{BV2-BV1} &= 330^\circ 32' 46,8''; \\ \alpha_{BV2-KT} &= 102^\circ 20' 20,7''; & \alpha_{KT-BV2} &= 282^\circ 20' 20,7''; \\ \alpha_{KT-M} &= 177^\circ 51' 56,7''; & \alpha_{M-KT} &= 357^\circ 51' 56,7''; \\ \alpha_{M-N} &= 296^\circ 20' 15,7''; & \alpha_{N-M} &= 116^\circ 20' 15,7''.\end{aligned}$$

4. Вычислить проектные горизонтальные углы β по схеме привязки (см. рис. 95).

Правило вычисления проектного угла β : горизонтальный угол при вершине равен разности дирекционных углов правого и левого угловых направлений, исходящих из этой вершины, т. е.

$$\beta_B = \alpha_{B-\text{право}} - \alpha_{B-\text{лево}}.$$

$$\begin{aligned}\beta_B &= \alpha_{B-HT} - \alpha_{B-A} = 51^\circ 3' 46,7'' + 360^\circ - 225^\circ 31' 32,3'' = 186^\circ 01' 14,4''; \\ \beta_{HT} &= \alpha_{HT-BV1} - \alpha_{B-A} = 91^\circ 43' 21,6'' + 360^\circ - 231^\circ 32' 46,7'' = 220^\circ 16' 10,34,9''; \\ \beta_{BV1} &= \alpha_{BV1-BV2} - \alpha_{BV1-HT} = 150^\circ 32' 46,8'' + 360^\circ - 271^\circ 43' 21,6'' = 238^\circ 49' 25,2'';\end{aligned}$$

$$\beta_{BV2} = \alpha_{BV2-KT} - \alpha_{BV2-BV1} = 102^{\circ}20'20,7'' + 360^{\circ} - 330^{\circ}32'46,8'' = 131^{\circ}47'33,9'';$$

$$\beta_{KT} = \alpha_{KT-M} - \alpha_{KT-BV2} = 177^{\circ}52'56,7'' + 360^{\circ} - 282^{\circ}20'20,7'' = 255^{\circ}31'36'';$$

$$\beta_M = \alpha_{M-N} - \alpha_{M-KT} = 296^{\circ}20'15,7'' + 360^{\circ} - 357^{\circ}51'56,7'' = 298^{\circ}28'19''.$$

Для контроля сравнивают сумму вычисленных углов $\sum\beta$ и теоретическую сумму углов $\sum\beta_{\text{теор}}$

$$\sum\beta = 1330^{\circ}48'43,4'';$$

$$\sum\beta_{\text{теор}}^{\text{пр}} = \alpha_{\text{н}} - \alpha_{\text{к}} + 180^{\circ} \cdot n;$$

$$\sum\beta_{\text{теор}}^{\text{лев}} = \alpha_{\text{к}} - \alpha_{\text{н}} + 180^{\circ} \cdot n;$$

$$\sum\beta_{\text{теор}}^{\text{лев}} = 296^{\circ}20'15,7'' - 45^{\circ}31'32,3'' + 1080^{\circ} \cdot 6 = 1330^{\circ}48'43,4''.$$

5. Используя склонение магнитной стрелки δ и сближение меридианов γ , вычисляют магнитные азимуты и их румбы (табл. 25) (рис. 97).

Таблица 25

Вычисление азимутов магнитных и их румбов

Номер точки	α	$\delta_{\text{в}}$	$\gamma_{\text{з}}$	A_M	r_M
A	45°31'32,28"	2°07'	3°	40°24'32,28"	СВ: 40°24'32,28"
B	51°32'46,7"	2°07'	3°	46°25'46,7"	СВ: 46°25'46,7"
HT	91°43'21,6"	2°07'	3°	86°36'21,6"	СВ: 86°36'21,6"
BV1	150°32'46,8"	2°07'	3°	145°25'46,8"	ЮВ: 34°34'13,2"
BV2	102°20'20,7"	2°07'	3°	97°13'20,7"	ЮВ: 82°46'39,3"
KT	177°51'56,7"	2°07'	3°	172°44'56,7"	ЮВ: 7°15'3,3"
M	296°20'15,7"	2°07'	3°	291°13'15,7"	СЗ: 68°46'44,3"
N					

$$A_M = \alpha - (\gamma_{\text{з}} + \delta_{\text{в}}).$$

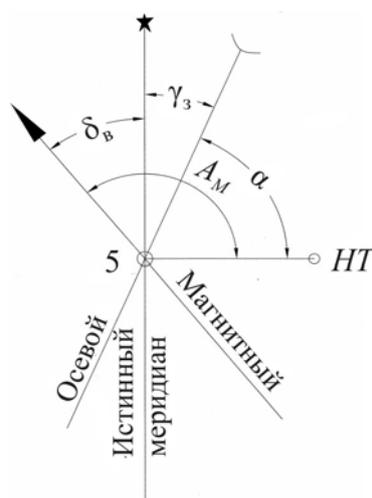


Рис. 97. Расположение меридианов

6. Вычисляют наклонные расстояния (табл. 26):

$$D = \frac{d}{\cos \nu}; \quad \nu = \frac{h\rho^\circ}{S}; \quad h = H_K - H_H,$$

где $S = d$ — горизонтальное проложение; D — наклонное расстояние; ν — угол наклона; $\rho = 57,3^\circ$ — радиан.

Таблицу 26

Вычисление наклонных расстояний

Номер точки	H , м	S , м	h , м	ν , °	$\cos \nu$	D , м
A	135,5	770,77	23,4	$1^\circ 44' 23''$	0,999539	771,13
B	158,9					
HT	182,5	1330,60	7,5	$0^\circ 19' 23''$	0,999984	1330,62
$BY1$	190,0	1464,24	-25	$-0^\circ 58' 42''$	0,999854	1464,45
$BY2$	165,0	818,91	0	0	1	818,91
KT	165,0	805,55	-15	$-1^\circ 04' 01''$	0,999826	805,69
M	150,0	563,49	-10,6	$-1^\circ 04' 40''$	0,999823	563,59
N	160,6					

7. Составляют разбивочный чертеж (рис. 98) — копию с карты, на котором черным цветом обозначают точки A, B, M, N , существующие на местности, и красным — все точки трассы АД, проектные углы β и значения ориентировки направлений относительно осевого и магнитного меридианов.

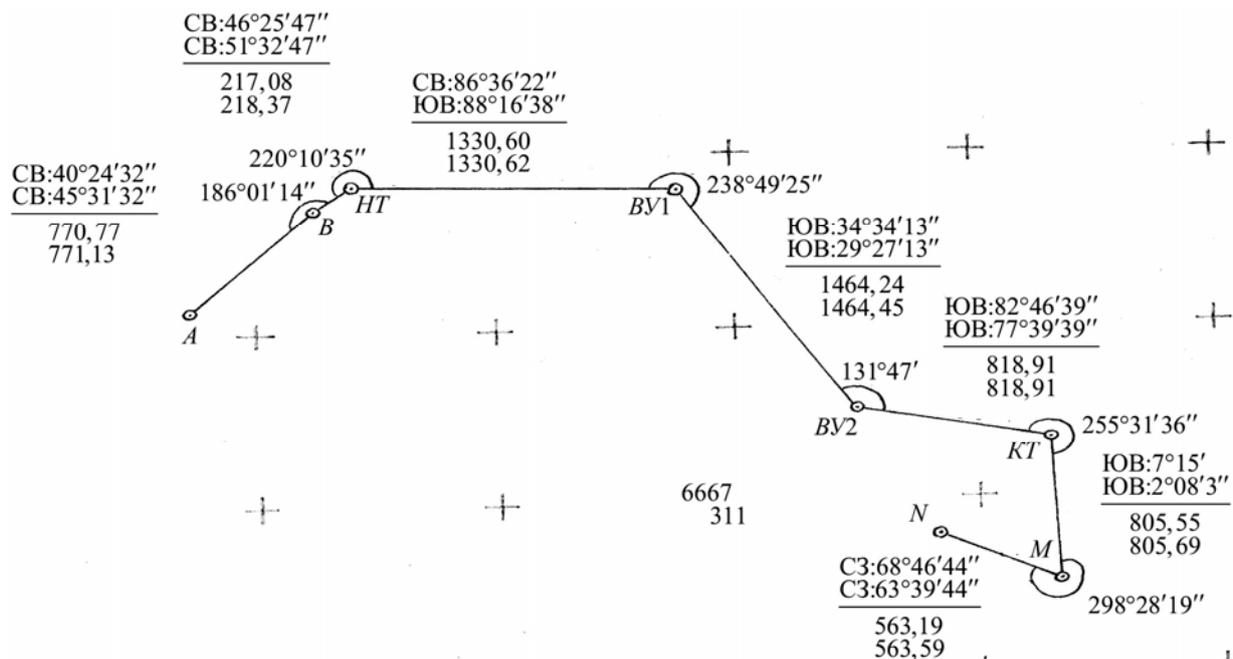


Рис. 98. Разбивочный чертеж

III.16. Вычисление разбивочных элементов для выноса проекта автодороги методом полярных координат

Используя разбивочный чертеж, необходимо вычислить разбивочные элементы и ввести поправки в их величины.

Исходные данные:

- 1) проектный угол $\beta_B^{\text{пр}}$ равен $186^\circ 01' 14''$;
- 2) измеренный угол $\beta_B^{\text{изм}}$ равен $186^\circ 00' 00''$;
- 3) проектное расстояние $S_{B-HT}^{\text{пр}} = 217,08$ м;
- 4) измеренное расстояние $S_{B-HT}^{\text{изм}} = 200$ м;
- 5) превышение между точками $h_{B-HT} = 23,06$ м;
- 6) температура компаратора при компарировании мерной ленты $t_0 = +22$ °С;
- 7) температура, при которой производятся измерения, $t_{\text{изм}}^0 = -2^\circ$;
- 8) длина мерной ленты номинальная $l_0 = 20$ м;
- 9) длина мерной ленты при компарировании $l_k = 19,975$ м.

Последовательность выполнения работы:

1. Вычисляют погрешность, полученную при выносе проектного угла на местность:

$$\Delta\beta = \beta_B^{\text{изм}} - \beta_B^{\text{пр}} = 186^\circ 00' 00'' - 186^\circ 01' 14'' = -01' 14''.$$

$\beta_B^{\text{изм}}$ получается на станции B следующим способом: теодолит устанавливается и приводится в рабочее положение над точкой B (выполняется центрирование, нивелирование и ориентирование прибора); зрительная труба настраивается по глазу и на предмет; в микроскопе устанавливается отсчет $0^\circ 00' 00''$; лимб наводится на точку A (ОГС); вращением алидады до получения в микроскопе отсчетного устройства значения проектного угла строится горизонтальный угол $\beta_B^{\text{пр}}$; по полученному направлению прокомпарированной мерной лентой откладывают отрезок немного меньше проектного расстояния S_{B-HT} , получается точка, которую фиксируют вехой; после чего лимб смещают и полным приемом измеряют угол между точками A и HT .

2. Вычисляют поправку в угол Δl , на которую изменяется угловое направление:

$$\Delta l = S_{B-HT}^{\text{изм}} \operatorname{tg} \Delta\beta = S_{B-HT}^{\text{изм}} \frac{\Delta\beta}{\rho} = 200 \operatorname{tg} 0^\circ 01' 14'' = 0,0718 \text{ м} = 72 \text{ мм},$$

где ρ — радиан ($\rho = 57,3^\circ$).

3. Определяют поправку в расстояние за компарирование: $\Delta l_{\text{комп}} = l_k - l_0 = 19,975 - 20 = -0,025$ м. Найти $\Delta l_{\text{комп}}$, приходящуюся на 1 м ленты:

$$\Delta l_{\text{комп. на 1 м}} = \frac{\Delta l_{\text{ном}}}{20} = -0,00125 \text{ м}.$$

Найти эту же величину $\Delta l_{\text{комп}}$, приходящуюся на всю измеренную длину:

$$\Delta l_{\text{комп}} = 200(-0,00125) = -0,25 \text{ м.}$$

4. Вводят поправку за температуру:

$$\Delta l_t = \alpha S_{B-HT}^{\text{изм}} (t_{\text{изм}} - t_0) = 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot (-2^\circ - 22^\circ) = -0,06 \text{ м,}$$

где α — коэффициент расширения стали ($\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$).

5. Вычисляют поправку в измеренное расстояние за превышение:

$$\Delta l_h = -\frac{h_{B-HT}^2}{2S_{B-HT}^{\text{изм}}} = -\frac{23,06^2}{2 \cdot 200} = -1,33 \text{ м.}$$

6. Уточняют величину измеренного расстояния:

$$S'_{B-HT} = S_{B-HT}^{\text{изм}} + \Delta l_{\text{комп}} + \Delta l_t + \Delta l_h = 200 - 0,25 - 0,06 - 1,33 = 198,36 \text{ м.}$$

7. Вычисляют редуцию:

$$R_s = S'_{B-HT} - S_{B-HT}^{\text{пр}} = 198,36 - 317,08 = -18,72 \text{ м.}$$

8. Составляют разбивочный чертеж (рис. 99):

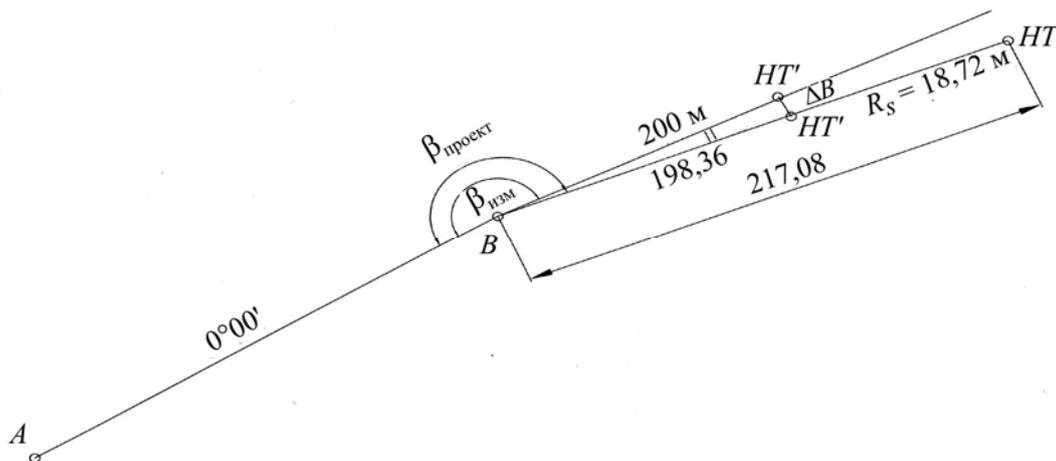


Рис. 99. Разбивочный чертеж

III.17. Оценка точности геодезических измерений

I. Равноточные измерения.

Задача 1. Длина линии измерена пять раз (табл. 27). Определить вероятнейшее значение L длины линии, среднюю квадратическую погрешность m измерения и среднюю квадратическую погрешность M арифметической середины.

Последовательность обработки результатов равноточных измерений:

1. Выбирают из l_i минимальное значение $l_{\text{мин}} = 340,68 \text{ м}$.
2. Вычисляют отклонение результатов ε от $l_{\text{мин}}$:

$$\varepsilon_i = l_i - l_{\text{мин}}.$$

3. Вычисляют среднее арифметическое:

$$L = l_{\min} + \frac{\varepsilon}{n} = 340,68 + \frac{0,16}{5} = 340,712 \text{ м.}$$

4. Вычисляют вероятнейшие ошибки:

$$v_i = l_i - L;$$

$$v_1 = 340,75 - 340,712 = 0,038 \text{ м;}$$

$$v_2 = 340,72 - 340,712 = 0,008 \text{ м;}$$

$$v_3 = 340,68 - 340,712 = -0,032 \text{ м;}$$

$$v_4 = 340,71 - 340,712 = -0,002 \text{ м;}$$

$$v_5 = 340,70 - 340,712 = -0,012 \text{ м;}$$

$$[v_i] = 0.$$

5. Вычисляют квадрат вероятнейшей погрешности:

$$v_1 \cdot v_1 = 0,001444;$$

$$v_2 \cdot v_2 = 0,000064;$$

$$v_3 \cdot v_3 = 0,001024;$$

$$v_4 \cdot v_4 = 0,000004;$$

$$v_5 \cdot v_5 = 0,000144;$$

$$[v_i \cdot v_i] = 0,00268 \text{ м.}$$

6. Вычисляют среднеквадратическую погрешность по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[v_i \cdot v_i]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,00268}{5-1}} = 0,026 \text{ м.}$$

7. Вычисляют среднеквадратическую погрешность арифметической середины:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0,026}{\sqrt{5}} = 0,012 \text{ м.}$$

8. Вычисляют предельную погрешность:

$$\Delta_{\text{пр}} = 3m = 3 \cdot 0,012 = 0,036 \text{ м.}$$

Таблица 27

Обработка данных равноточных измерений

Номер изм.	Результаты измерений	$\varepsilon = l_i - L_0^1$	$V_i = l_i - L$	VV	Формулы
1	340,75	0,07	0,038	0,001444	1. $L = L_0^1 + \frac{[\varepsilon]}{n} = 340,68 + \frac{0,16}{5} = 340,712 \text{ м.}$ 2. $m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,00268}{5-1}} = 0,026 \text{ м.}$ 3. $M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0,026}{\sqrt{5}} = 0,012 \text{ м.}$ 4. $\Delta_{\text{пр}} = 3m = 3 \cdot 0,012 = 0,036 \text{ м.}$
2	340,72	0,04	0,008	0,000064	
3	340,68	0	-0,032	0,001024	
4	340,71	0,03	-0,002	0,000004	
5	340,70	0,02	-0,012	0,000144	
	$L_0^1 = 340,68$	$[\varepsilon] = 0,16$	$[v] =$	$[vv] = 0,00268$	

II. Неравноточные измерения.

Задача 2. Угол измерен четырьмя исполнителями разным числом приемов (табл. 28). Определить вероятнейшее β_0 значение угла, среднеквадратические погрешности единицы веса μ и общей арифметической середины M_0 .

Таблица 28

Обработка данных неравноточных измерений

Номер изм.	Результаты измерений	Число приемов n	Вес изм. p_i	$\varepsilon = \beta_{\text{из}} - \beta_0^1$	$p\varepsilon$	$\nu = \beta_i - \beta_0$	$p\nu$	$p\nu\nu$
1	115°12'30"	2	2	0°0'20"	0°0'40"	7,5"	15"	112,5"
2	115°12'10"	3	3	0	0	-12,5"	-37,5"	468,75"
3	115°12'24"	4	4	0°0'14"	0°0'56"	1,5"	6"	9"
4	115°12'39"	1	1	0°0'29"	0°0'29"	16,5"	16,5"	272,25"
$\beta'_0 = 115^\circ 12' 10''$			[10]		[125"]		[0]	[862,5"]

$$1. \beta_0 = \beta_0^1 + \frac{[p\varepsilon]}{[p]} = 115^\circ 12' 10'' + \frac{125''}{10} = 115^\circ 12' 22,5''.$$

$$2. \mu = \sqrt{\frac{[p\nu\nu]}{n-1}} = \sqrt{\frac{862,5''}{4-1}} = 16,96'' \approx 17,0''.$$

$$3. M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \frac{16,96}{\sqrt{10}} = 5,363'' \approx 5,4''.$$

Последовательность обработки результатов неравноточных измерений:

1. Выбирают из β_i минимальное значение $\beta_{\min} = 115^\circ 12' 10''$.

2. Вычисляют отклонение результатов от l_{\min} :

$$\varepsilon_i = \beta_i - \beta_{\min};$$

$$\varepsilon_1 = 115^\circ 12' 30'' - 115^\circ 12' 10'' = 20'';$$

$$\varepsilon_2 = 115^\circ 12' 10'' - 115^\circ 12' 10'' = 00'';$$

$$\varepsilon_3 = 115^\circ 12' 24'' - 115^\circ 12' 10'' = 14'';$$

$$\varepsilon_4 = 115^\circ 12' 39'' - 115^\circ 12' 10'' = 29''.$$

3. Вычисляют произведение веса на уклонение $P_i\varepsilon_i$.

$$2 \cdot 20'' = 40'';$$

$$3 \cdot 0'' = 00'';$$

$$4 \cdot 14'' = 56'';$$

$$1 \cdot 29'' = 29'';$$

$$[P_i\varepsilon_i] = 125''.$$

4. Вычисляют среднее арифметическое:

$$L = \beta_{\min} + \frac{[P \cdot \varepsilon]}{[P]} = 115^\circ 12' 10'' + \frac{125''}{10} = 115^\circ 12' 22,5''.$$

5. Вычисляют вероятнейшие ошибки:

$$v_i = \beta_i - L;$$

$$v_1 = 115^\circ 12' 30'' - 115^\circ 12' 22,5'' = +7,5'';$$

$$v_2 = 115^\circ 12' 10'' - 115^\circ 12' 22,5'' = -12,5'';$$

$$v_3 = 115^\circ 12' 24'' - 115^\circ 12' 22,5'' = +1,5'';$$

$$v_4 = 115^\circ 12' 39'' - 115^\circ 12' 22,5'' = +16,5''.$$

6. Вес умножается на вероятность ошибки

$$P_i \cdot v_i;$$

$$2 \cdot 7,5 = 15'';$$

$$3 \cdot (-12,5) = -37,5'';$$

$$4 \cdot 1,5 = 6'';$$

$$1 \cdot 16,5 = 16,5'';$$

$$[P_i \cdot v_i] = 0.$$

7. Произведение $P_i \cdot v_i$ умножают на вероятностную ошибку, получают $P_i \cdot v_i \cdot v_i$.

$$2 \cdot 7,5^2 = 112,5'';$$

$$3 \cdot (-12,5)^2 = 468,75'';$$

$$4 \cdot 1,5^2 = 9'';$$

$$1 \cdot 16,5^2 = 272,25'';$$

$$[P_i \cdot v_i \cdot v_i] = 862,5''.$$

8. Определяют среднеквадратическую погрешность величины веса:

$$\mu = \sqrt{\frac{[P_i \cdot v_i \cdot v_i]}{n-1}} = \sqrt{\frac{862,5''}{4-1}} = 16,96''.$$

9. Определяют среднеквадратическую погрешность арифметической середины:

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[P]}} = \frac{16,96}{\sqrt{10}} = 5,363''.$$

Задача 3. Вычислить площадь S прямоугольника и среднюю квадратическую ошибку ее определения m_s , если стороны прямоугольника $a = 269$ м, $b = 70$ м, измерены со средними квадратическими погрешностями $m_a = 0,04$ м, $m_b = 0,07$ м.

$$1. S = a \cdot b = 269 \cdot 70 = 18830 \text{ м}^2.$$

$$2. m_s = \sqrt{a \cdot m_b^2 + b \cdot m_a^2} = 19,037 \text{ м}^2.$$

$$3. \frac{m_s}{S} = \frac{1}{989,13}.$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дементьев, В. Е.* Современная геодезическая техника и ее применение : учебное пособие / В. Е. Дементьев. — М. : Академический проект, 2011 г. — 591 с.
2. *Михалев, Д. Ш.* Инженерная геодезия : учебник для вузов. — 9-е изд. / Д. Ш. Михалев, Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, В. Д. Фельдман ; под ред. Д. Ш. Михалева. — М. : Академия, 2008. — 480 с.
3. *Матвеев, С. И.* Инженерная геодезия (с основами геоинформатики) : учебник для вузов / С. И. Матвеев, В. А. Коугия, В. Д. Власов и др. ; под ред. проф. С. И. Матвеева. — М. : ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2007. — 554 с.
4. *Коугия, В. А.* Геодезические работы при строительстве мостов / В. А. Коугия, В. В. Грузинов, О. Н. Малковский, В. Д. Петров ; под ред. В. А. Коугия. — М. : Недра, 1986. — 258 с.
5. *Лобанов, А. Н.* Фотограмметрия : учебник для вузов / А. Н. Лобанов, М. И. Буров, Б. В. Краснопевцев и др. — М. : Недра, 1987. — 309 с.
6. *Матвеев, С. И.* Высокочастотные цифровые модели пути и спутниковая навигация железнодорожного транспорта / С. И. Матвеев, В. А. Коугия. — М. : ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2005. — 304 с.
7. *Паромонов, А. Г.* Геодезия : учебное пособие / А. Г. Паромонов. — М. : МАКС, 2008. — 172 с.
8. *Перфилов, В. Ф.* Геодезия / В. Ф. Перфилов, Р. И. Скогорева, Н. В. Усова. — М. : Высшая школа, 2008. — 350 с.
9. *Поклад, Г. Г.* Геодезия : учебное пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев — М. : Академический проект, 2008. — 529 с.
10. *Гриднев, С. П.* Практикум по геодезии / С. П. Гриднев ; под ред. Г. Г. Поклада. — М. : Академический проект, 2011 — 485 с.
11. *Федотов, Г. А.* Инженерная геодезия : учебник / Г. А. Федотов. — М. : Высшая школа, 2009. — 463 с.
12. *Федоров, М. И.* Инженерная аэрогеодезия / М. И. Федоров. — М. : Недра, 1988. — 222 с.

Электронное издание сетевого распространения

Глушкова Раиса Михайловна
Анопин Владимир Николаевич
Карпова Ольга Ивановна

АЭРОГЕОДЕЗИЯ И ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебно-методическое пособие

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*
Редактор *И. Б. Чижикова*
Компьютерная правка и верстка *М. А. Денисова*

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 04.12.2015.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 9,2. Объем данных 8,5 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru